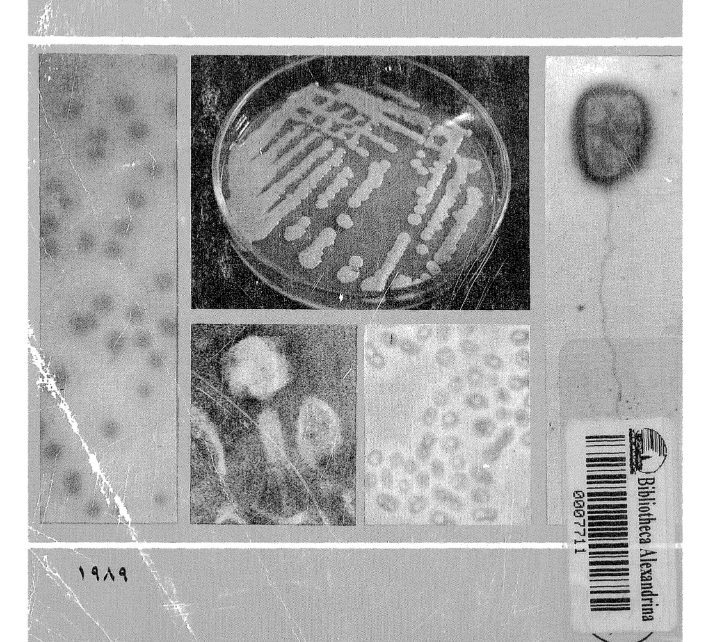
مقدمة فى علم الميكروبيولوچيا

تأليف: ج. ف. ولكنسون

ترجمة: الدكتور نبيل ابراهيم حجازى

مراجعة: الدكتور عبد الوهاب محمد عبد الحافظ


Bibliotheca Alexandrina
0007711

١٩٨٩

مقدمة
فى علم الميكروبيولوجيا

© طبعة ١٤٠٩ هـ ١٩٨٩ الرياض
دار المريخ للنشر
حقوق الطبع والنشر محفوظة للناشر
لا يجوز استنساخ أي جزء من هذا الكتاب أو اختزانه بأي وسيلة إلا بإذن خطي من الناشر
ص . ب ١٠٧٢٠
الرياض ١١٤٤٣

مقدمة
في علم الميكروبيولوجيا

تأليف: ج . ف . ولكنسون
أستاذ الميكروبيولوجي
جامعة أدنبره

ترجمة: الدكتور نبيل ابراهيم حجازي
أستاذ الميكروبيولوجي
كلية الزراعة - جامعة القاهرة

مراجعة: الدكتور عبد الوهاب محمد عبد الحافظ
أستاذ الميكروبيولوجي
وعميد كلية الزراعة - جامعة عين شمس



بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ سبحان الذى خلق الأزواج كلها مما تنبت الأرض ومن أنفسهم ومما لا يعلمون ﴾ .

[صدق الله العظيم]

المحتويات

مقدمة المترجم للكتاب فى طبعته العربية

قدمت هذه الترجمة العربية لكتاب مقدمة فى علم الميكروبيولوجيا لتزود القارئ العربى على اختلاف اتجاهاته بأساسيات هذا العلم وتطوره ، وذلك بأسلوب يتميز بالبساطة والوضوح والإيجاز ، وأملاً فى تفهم الدور الجوهرى الذى تلعبه مختلف فروع علم الميكروبيولوجيا كأساس لتقدم وتطور مجموعة علوم البيولوجى الحديثة مثل البيولوجيا الجزيئية والهندسة الوراثية ، وعلوم تكنولوجيا الغذاء والطاقة بالإضافة إلى التلوث البيئى بأخطاره وكيفية مجابهته .

ولا يسعنى إلا أن أشكر بمزيد الامتنان كل من تفضل بتقديم العون بصوره المختلفة خلال مراحل إعداد هذا الكتاب ، وأخص بالذكر الدعم المادى والأدبى الذى قدمه الزملاء والمسؤلون فى كل من هيئة الكسندرفون همبولدت Alexander von Humboldt Stiftung بألمانيا الغربية ، وكلية الزراعة والطب بجامعة الملك سعود ــ فرع القصيم .. ، وقسم الميكروبيولوجيا بكلية الزراعة جامعة القاهرة .

هذا الكتاب إهداء إلى زوجتى .. رفيقة العمر
ورمز الوفاء والعطاء

دكتور نبيل حجازى



تقديم

أعد هذا الكتاب خصيصا ليكون كمقدمة فى علم الميكروبيولوجيا . وعلى الرغم من أنه لايتطلب من القارىء معرفة مسبقة بالكائنات الحية الدقيقة إلا أنه من المفترض أن يكون ملما ببعض مبادىء علوم الحياة ، والكيمياء الحيوية خاصة بالإضافة إلى قدر بسيط من علم الوراثة .

يشتمل علم الميكروبيولوجيا عادة على دراسة الكائنات الحية الدقيقة ذات النواة الحقيقية (طحالب ، فطريات ، بروتوزوا) بالاضافة إلى البكتريا والفيروسات ، الا أن المفاهيم والحقائق العامة المقدمة فى هذا الكتاب قد استخدم فى عرضها وتوضيحها البكتريا والفيروسات التى تعتبر أكثر هذه الكائنات الحية ملائمة لهذا الغرض .

ويعد هذا الكتاب الجزء الأول فى سلسلة من الكتب الدراسية المعنونة كالآتى :

١ – مقدمة فى علم الميكروبيولوجيا
٢ – مقدمة فى علم الفيروسات الحديث
٣ – فسيولوجيا الكائنات الحية الدقيقة
٤ – بيولوجيا الكائنات الحية الدقيقة
٥ – بيئة الميكروبات
٦ – الميكروبيولوجيا الزراعية
٧ – الميكروبيولوجيا الصناعيه
٨ – الميكروبيولوجيا الطبية

وتقدم هذه الكتب فى مجملها كتابا متناسقا عن الميكروبيولوجيا فى نفس الوقت الذى بذلت فيه المحاولات لجعل كل كتاب من هذه الكتب وافيا فى حد ذاته بحيث يتوقف الاختيار فيما بينها على القارىء نفسه ، وعلى هذا قد يحتاج طالب تخصص الميكروبيولوجيا الزراعية الاطلاع على الجزئين الأول والسادس . ولتحقيق مثل هذا الغرض كان لزاما تكرار بعض المعلومات الضرورية وذلك فى أضيق الحدود .

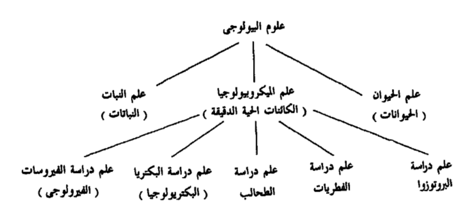
ويسعدنى أن أتقدم بالشكر لأعضاء قسم الميكروبيولوجى بجامعة ادنبرة لإسهامهم فى هذه السلسلة من الكتب بالكثير من المقترحات . هذا بالإضافة إلى أننى مدين بالفضل لكل من السيد جوردون فين لتصميم معظم الرسوم التوضيحية وللسيدة دولوريس ستيوات لتحملها مشقة النسخ على الآلة الكاتبة .

الفصل الأول

مقدمة :

يختص علم الميكروبيولوجيا بدراسة الكائنات الحية الدقيقة ، ومع أن ذلك واضح فإنه من الصعب إيجاد تعريف محدد للكائنات الحية الدقيقة ، ولكننا فى الوقت الحالى يمكن أن نعتبر أنها تضم أبسط الكائنات الحية فى التركيب وقد تم ضمها إلى بعضها من باب التبسيط . ويعتبر علم الميكروبيولوجيا آخر الفروع الرئيسية الثلاثة لعلوم البيولوجى التى ظهرت مؤخرا ، ولازالت هناك محاولات لادراج كل الكائنات الحية ودراستها إما فى علم النبات أو علم الحيوان ، ولهذا كانت البكتريا والطحالب والفطريات تعتبر كجزء من المملكة النباتية فى حين أن البروتوزوا ضمت إلى المملكة الحيوانية ولكن لسوء الحظ أدى ذلك إلى تجاهل الكائنات الحية الدقيقة ، وإهمال دراستها ، حيث أنها تحتاج إلى طرق ووسائل خاصة لدراستها . ثم كان العامل المشجع على تطور علم الميكروبيولوجيا كعلم مستقل ما اكتشف من مقدرة الميكروبات على إحداث المرض ، لذا أنشأت الأقسام العلمية المتخصصة فى دراسة الكائنات الحية الدقيقة خاصة البكتريا بمدارس الطب المختلفة . ولم تنشأ أقسام الميكروبيولوجى غير الممرضة إلا مؤخراً حيث قد ساعد على ذلك استخدام الكائنات الحية الدقيقة كوسيلة لدراسة المبادىء البيولوجية الأساسية خاصة المتعلقة بالبيولوجيا الجزيئية .

وجرت العادة الآن على أن تشتمل الكائنات الحية الدقيقة على خمس مجاميع رئيسية يقسم على أساسها علم الميكروبيولوجيا إلى خمسة أقسام فرعية هى علوم دراسة الفيروسات والبكتريا والطحالب والفطريات والبروتوزوا بمعنى أن :



والآن ما هى المبررات لفصل الميكروبيولوجيا كأحد العلوم المستقلة ؟ تنحصر هذه المبررات فى ثلاث سوف نناقشها فيما يلى : الأول هو أن معظم الكائنات الحية التى تندرج تحت مجموعة الكائنات الحية الدقيقة متناهية فى الصغر (مجهرية) . وقد يكون البعض منها متعدد الخلايا ، ولكن بالرغم من ذلك ليس بها تخصص وظيفى وتميز فى الأنسجة مثل الكائنات الأرقى ، والمبرر الثانى والذى قد يعتبر أكثرها أهمية هو أن الطرق المستخدمة فى دراسة هذه الكائنات الحية الدقيقة تعتبر متماثلة بالنسبة لمجاميعها المختلفة ، فى حين أنها تختلف اختلافا كثيرا عن الطرَق الأخرى المستخدمة فى دراسة كل من النباتات والحيوانات ، وثالثا أن الميكروبات عادة ما تكون مجموعة متداخلة فى الطبيعة . لهذه الأسباب مجتمعه ، اعتبر علم الميكروبيولوجيا كعلم مستقل ، ولو أن الطريقة المثلى لاشك هى تنظيم البحوث فى مجال البيولوجى باعتباره مجالا واحدا مع تغير وتبدل الحدود الفاصلة بين هذه الفروع باختلاف الموضوع تحت الدراسة إلا أنه من الناحية العملية نجد أن التقسيم يعتبر ضروريا لأسباب عملية وأن هذا العلم بالضرورة يبزغ فى النهاية كعلم وكاتجاه مستقل .

قد يستقل أحد علوم المعرفة نتيجة لتطور وسائل دراسته ، ومع أن الحديث عن ذلك قد يبدو فى حد ذاته قليل الأهمية ، الا أن دراسة تاريخ علم الميكروبيولوجيا سوف يشير بوضوح إلى مدى أهمية طرق ووسائل الدراسة المناسبة . وهناك ثلاثة من طرق الدراسة التى كان ولابد أن يتم تطورها قبل أن يبزغ علم الميكروبيولوجيا ويستقل لذاته .

١ – الفحص الميكروسكوبى :

نظرا لأن علم الميكروبيولوجيا يختص بدراسة الكائنات الحية المتناهية فى الدقة اعتمد تقدمه فى أول الأمر تماما على التعديلات والتحسينات التى أدخلت على الميكروسكوب .

٢ - طرق التعقيم :

قبل أن تستخدم البيئات المختلفة لتنمية ميكروب ما ، فإنه لابد وأن يتم التخلص من جميع الكائنات الحية الموجودة بها ، بمعنى أنه كان لزاماً أن تطور طرق التعقيم .

٣ - المزارع النقية :

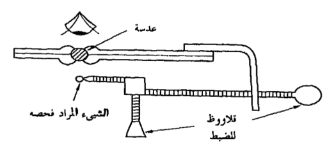
بمجرد الحصول على بيئات معملية معقمة فقد أصبح من الممكن عمليا استحداث طرق لفصل الكائنات الحية الدقيقة عن بعضها والعمل على حفظها على هيئة مزارع نقية . وبذلك أصبح من الممكن دراسة خصائص كل منها على حدة . والآن لنتكلم عن كل تطور من هذه التطورات بشيء من التفصيل .

الميكروسكوب :

فى فترة ما قبل القرن السابع عشر كانت هناك بعض التقارير التى تشير إلى وجود بعض الكائنات الحية التى لا يمكن رؤيتها ، ولكن قبل التوصل إلى أى من الوسائل الملائمة لتكبير هذه الكائنات ومشاهدتها كان من الصعب إيجاد أى دليل مقنع على ذلك . ويذهب الفضل الأول فى اكتشاف هذه الكائنات الحية الدقيقة وتقديم البرهان على وجودها إلى التاجر الهولندى والعلامة الهاوى انتونى فان ليفنهوك الذى كان يعيش بمدينة دلفت . حيث استغل ليفنهوك وقت فراغه فى مزاولة هوايته الخاصة بصناعة العدسات التى كان يستخدمها فى بناء عدساته المكبرة .

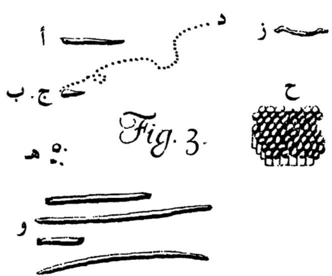
ويعتبر مثل هذا الميكروسكوب المكون من عدسة وحيدة أبسط تصميم ظهر فى تلك الحقبة (انظر شكل ١ - ١) وحيث كان له القدرة على تكبير الأشياء بما يعادل 200 مرة . وكنتيجة لقدرة هذا الرجل على الصبر والجلد فى إعداد واستخدام هذا الميكروسكوب ، فقد تمكن من وصف بل ورسم العديد من هذه الكائنات الحية التى اشتملت بكل تأكيد على البكتريا .

ولعل محاولة أى فرد الآن استخدام ميكروسكوب مماثل لما استخدمه ليفنهوك سوف يؤكد عبقريته ومقدرته غير المحدودة على الصبر . وقد قام ليفنهوك بتسجيل مشاهداته وأعماله على صورة خطابات أرسلها الى الجمعية الملكية فى لندن والتى أسست فى ذلك الحين . ومثال على ذلك المقتطفات التالية المأخوذة عن إحدى خطاباته فى عام 1684



(شكل ١ - ١) نموذج الميكروسكوب البسيط الذى استخدمه ليفنهوك . يوضع الشيء المراد فحصه فى نهاية سلك يتصل بمسمار قلاووظ حيث يشاهد من خلال عدسة صغيرة .

التى ضمنها وصفه لأحد هذه الكائنات الحية المميزة بالحرف هـ (شكل ١ - ٢) والتى غالبا ما تمثل أول وصف للبكتريا : « على الرغم من احتفاظى بأسنانى فى حالة نظيفة ، إلا أنه عند فحصها بالعدسة المكبرة ، وجد فيما بينها مادة بيضاء قمت بفحصها بعد مزجها بقطرات المطر النقية التى لا تحتوى على أية حيوانات ، ولدهشتى الشديدة وجدت أن هذه المادة تحتوى على كائنات حيوانية صغيرة تتحرك حركة شديدة ، وأكبر هذه الأنواع يمثله الشكل « أ »حيث يتميز بحركة قوية ورشيقة وتعمل على دفع نفسها بحركات مفاجئة فى الماء كما تفعل أسماك جاك أو بايك .... والنوع الثانى يأخذ الشكل « ب » والذى يدور حول نفسه مثل النحلة ..... والنوع الثالث لم أتحقق جيدا من هيئته ، حيث كان يأخذ فى بعض الأحيان الشكل البيضاوى وفى أحيان أخرى شكل دائرى ، وهذه الأشكال كانت متناهية فى الصغر لدرجة أن حجمها لا يزيد عن الشكل هـ » .



(شكل ١ - ٢) رسومات ليفنهوك الشهيرة للكائنات الحية الدقيقة والمنشورة فى عام 1684 . حيث شاهد كائنات حية مختلفة الأشكال والتى يشابه بعضها البكتريا بكل تأكيد .

وأعقب مشاهدات ليفنهوك هذه فترة تناهز القرنين دون أية إضافة حقيقية عن هذه الكائنات الحية الدقيقة نظرا لعدم تمكن الآخرين من تصميم ميكروسكوب مماثل يتميز بنفس درجة الوضوح وقوة التكبير ، بالإضافه إلى الافتقار إلى صبر وجلد ليفنهوك ذاته .

وفى الحقيقة فإن أى تقدم فى هذا المجال كان مشروطا بتقدم صناعة الميكروسكوب المركب والذى يتكون من عدسة عينية ، وأخرى شيئية يعمل على زيادة قوة تكبير الشيء المراد فحصه مع سهولة التناول والفحص الميكروسكوبى فى حد ذاته . وحقيقة أن رجالًا مثل روبرت هووك قد استخدموا ميكروسكوبا مركبا فى القرن السابع عشر ولكنهم لم يتمكنوا من إضافة الشيء الكثير عما حققه ليفنهوك بميكروسكوبه الوحيد العدسة والسبب وراء ذلك يعزى لبعض العيوب التى ينشأ بعضها عن الزيغ اللونى والكروى والموجودة فى العديد من الميكروسكوبات التى قاموا بتصميمها ؛ ولكن مثل هذه العيوب قد تم تلافيها تدريجيا خلال القرن الثامن عشر بالتحسينات التى أدخلت فى المجالات التالية :

١ – تصحيح الزيغ فى العدسات العينية والشيئية المركبة .

٢ – استخدام مكثف لتجميع الضوء وتركيزه على الشيء المراد فحصه .

٣ – استخدام غطاء زجاجى رقيق ، ليوضع فوق نقطة من السائل على الشريحة الزجاجية وبذلك يمكن فحص الأشياء بداخل هذه السوائل وباستخدام سطح مستو .

٤ – استخدام العدسات الزيتية المنغمسة حيث أمكن زيادة القوة الإيضاحية للميكروسكوب باستخدام مادة سائلة توضع فيما بين العدسة الشيئية ذات معامل الانكسار العالى وبين الهواء وكان أكثر هذه المواد استعمالا نوعا معيناً من الزيت .

وتلازم مع هذه التطورات التحسن الذى طرأ على طرق الصبغ مما ساعد على استخدام الخصائص المورفولوجية كأساس للتقسيم المبسط للميكروبات ، ولكن نظرا لأن الحد الأدنى لمقدرة الميكروسكوب على التفريق فيما بين الجسيمات ورؤيتها مستقلة وبوضوح كان حوالى 0.2 μm فان ذلك لم يساعد على رؤية المزيد من التراكيب الداخلية للخلية البكتيرية التى يتراوح قطرها فى المتوسط بين 0.5–1.0 μm . وكانت الطريقة الوحيدة لزيادة قوة تكبير الميكروسكوب إما بزيادة الفتحه العددية لعدسة الميكروسكوب والذى كان صعبا من الناحية العملية أو بتقليل طول موجة الضوء

المستخدم ، فتعطى الأشعة الفوق بنفسجية – نظرا لقصر طول موجتها – قوة تفريق وإيضاح لجسيمات يصل قطرها إلى حوالى 0.1 μm ولكن يتطلب ذلك استخدام عدسات من مادة الكوارتز وآلات تصوير ، أو شاشة فلورية لرؤية الجسم المكبر . وعلى هذا فقد استخدم الميكروسكوب الفلوريني أساسا لرؤية التراكيب التى تتميز بخصائص معينة عند استخدام الأشعة فوق البنفسجية (مثل امتصاص الأشعة الفلورية بدرجة متخصصة) . وكما حدث من فترة ركود بالنسبة لدراسة الخلية الميكروبية فى الفترة فيما بين منجزات ليفنهوك وحتى تطور الميكروسكوب المركب ، فإنه لم يكن هناك تقدم ملحوظ فى الفترة ما بين النصف الآخر للقرن التاسع عشر ، وحتى اختراع الميكروسكوب الالكترونى فى الأربعينات من هذا القرن . فقد ساعد قصر موجة حزمة الالكترونات على الحصول على قوة تفريق وإيضاح جسيمات تصل فى أبعادها إلى أقل من 0.01 nm أو 0.001 Å حيث أمكن ولأول مرة مشاهدة جزيئات الفيروسات قائمة بذاتها ، وبصفتها الطبيعية والمستقلة ؛ وقد أدت بعض المشاكل العملية المتعلقة بتصميم وتطوير العدسات المغناطيسية المستخدمة إلى عدم إمكانية الوصول إلى قوة تفريق وإيضاح لجسيمات أقل من ذلك . ومع ذلك فقد أصبح ممكنا رؤية الجزئيات الكبيرة المكونة لبنية الخلايا ذاتها . وفى الواقع لا يرى بالميكروسكوب الالكترونى إلا الأشياء الموجودة على هيئة غشاء رقيق ، وذلك بأمل الحصول على رؤية واضحة وتحديد تراكيبها الداخلية ، لذا فإنه كان لزاما تطور الطرق المستخدمة فى تحضير الخلايا ، وذلك بتثبيتها وتجفيفها ثم طمرها فى مادة بلاستيكية سائلة يعمل منها فيما بعد قطاعات رقيقة تصل فى سمكها إلى 100 nm (أى أن حوالى عشرة من هذه القطاعات تعادل سمك خلية بكتيرية واحدة) . ويمكن الحصول على درجة أعلى من التباين وإظهار الفروق بين التراكيب المختلفة باستخدام بعض الصبغات المعتمة للألكترونات أى التى لاتسمح بمرور الالكترونات خلالها مثل حمض الأوزميك ، أملاح اليورانيوم والبرمنجنات . ومن المشاكل الأخرى المتعلقة باستخدام الميكروسكوب الالكترونى إمكانية ظهور بعض التكوينات غير الحقيقية والمزيفة نتيجة لعمليات التثبيت والتجفيف وطمر العينات . ولو أن ذلك يمكن التغلب عليه إلى حد ما باستخدام طريقة تجهيز خاصة للعينات والتى تشتمل على عمل نسخة مطابقة بالكربون لأسطح الخلية التى سبق تجميدها بالحرارة المنخفضة (شكل ٢ – ٨ ، صفحة 54) . ومع ذلك فإنه بالرغم من المشاكل التى واجهت استخدام الميكروسكوب الالكترونى خاصة فيما يتعلق بتفسير النتائج المتحصل عليها فإنه بلا شك قد فتح أمام علماء الخلية الميكروبية آفاقا رحبة وعالماً جديداً .

طرق التعقيم :

يشتمل التعقيم على التخلص الكامل من كل الكائنات الحية سواء بقتلها أو إزالتها من الشيء المراد تعقيمه . ولحسن الحظ فإن التقدم فى طرق التعقيم كان من النتائج الحسنة للخلاف الناشيء حول نظرية التوالد الذاتى للكائنات الحية الدقيقة والذى توج فى النهاية بأعمال باستير . فعلى الرغم من أن نظرية التوالد الذاتى بمفهومها التقليدى مثل توالد الفئران ونشوئها من الخرق البالية واليرقات من اللحم قد فندت فعلا مع بداية القرن السابع عشر إلا أنه قد كان هناك اعتقاداً سائداً بأن الكائنات الحية الدقيقة التى اكتشفها ليفنهوك تخلق ذاتيا أى من العدم ، وذلك حتى منتصف القرن التاسع عشر . فقد كان معروفا أن تخمر عصائر الفاكهة يصاحبه إنتاج كائنات حية دقيقة مثل الخميرة بالإضافة إلى الكحول وثانى أكسيد الكربون ، وأن تعفن المستخلصات النباتية والحيوانية وحموضة الألبان يلازمه نمو كائنات حية دقيقة مثل البكتريا وتراكم أحماض عضوية مثل اللاكتيك ومواد كيميائية ذات رائحة كريهة مثل الأمينات . والسؤال الآن هو ماهو السبب وما هو المتسبب ؟ هل أدى التخمر إلى التوالد الذاتى للخمائر أم أن الخمائر هى التى قامت بعملية التخمر ذاتها ؟ لعل الاجابة تبدو بديهية فى الوقت الحاضر ولكنها لم تكن كذلك فيما مضى ، ومن المدهش حقا قراءة التجارب الأولية التى أجريت لتفنيد نظرية التوالد الذاتى هذه كى نرى كيفية تقويم الآراء والمعتقدات الخاطئة . ولعل ذلك يجعل الإنسان أقل غطرسة وثقة فى التقدم الذى وصل إليه العلم الآن حيث أن البعض من معتقداتنا العلمية الحالية قد تكون مبنية على أساس خاطيء .

ولقد اعتمدت التجارب التى صممت لتفنيد نظرية التوالد الذاتى على واحد أو أكثر من المبادىء التالية :

(أ) التعقيم الكامل للبيئات المستخدمة فى تنمية الميكروبات لضمان عدم تواجد أية كائنات حية عند بداية التجربة .

(ب) تصميم الوعاء المستخدم فى التجربة لدرجة يصعب معها دخول أية كائنات حية دقيقة من الخارج . ولعل ذلك كان ضروريا بعد التيقن من وجود الكائنات الحية الدقيقة منتشرة فى الجو المحيط . فعلى سبيل المثال فإنه حتى الهواء النقى قد يحتوى كل قدم مكعب منه على خليه ميكروبيه واحدة ، فى حين أن هذه الأعداد تزداد بدرجة كبيرة إلى المئات بل الآلاف فى هواء الغرفة المزدحمة .

وبالتمسك بكل هذه الأسس فإذا ما أدت الظروف إلى تكاثر الميكروبات فلا بد أن ينظر إلى أى نمو أن يكون منشؤه التوالد الذاتى . ولا شك أن حجر الزاوية فى حدوث هذا الالتباس يرجع إلى كفاءة طرق التعقيم وقد أدى هذا إلى جدل وصل إلى طبيعة نشأة الحياة ذاتها وقد وجد الكثير من العلماء الأفذاذ أنفسهم منخرطين فيه . والنتيجة النهائية لمثل هذا الصراع ، هو تطور طرق التعقيم . ولنتناول الآن المبدئين الأساسيين للتعقيم :

١ – إتمام عملية التعقيم :

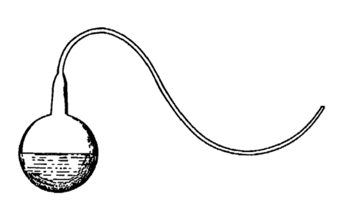
تعتمد طرق التعقيم المعروفة على المعاملة بالحرارة والتى عرف أنها ضارة بكل صور الحياة – ولكن تبين بعد ذلك اختلاف الكائنات الحية الدقيقة اختلافا كبيرا من حيث مقاومتها للحرارة (شكل ١ – ٤) ولابد وأن يكون التعقيم موجها لقتل أكثر صور الحياة مقاومة للحرارة .

وعموما تحتاج البكتريا لدرجات حرارة أعلى من الكائنات الحية الدقيقة الأخرى كما أن بعض هذه الكائنات الدقيقة قد تكون تركيبات مقاومة للحرارة تسمى بالجراثيم (صفحة 42) . فالغليان عند الضغوط الجوية العادية يعد غير كاف لقتل هذه الجراثيم ولذا صممت المعقمات بالبخار تحت ضغط للتعقيم تحت ضغوط متزايدة والتى يصاحبها ارتفاع فى درجات الحرارة عن 100° .

٢ – المحافظة على التعقيم :

استخدمت التجارب التى أجريت فى الماضى لتأكيد نظرية التوالد الذاتى سدادات من الكاوتشوك كى تمنع وصول الكائنات الحية الدقيقة والملوثات المختلفة إلى المحاليل المختبرة من الخارج . ولكن لسوء الحظ كانت هذه الطريقة غير فعالة عمليا حيث تبين أن للميكروبات القدرة على الدخول من الفراغات المحيطة بسدادات الكاوتشوك خاصة بعد تعقيم الأوعية الزجاجية وعند تبريدها . وعلى الرغم من إمكانية لحم فوهات الدوارق الزجاجية باستخدام الحرارة إلا أن الاعتراض على ذلك هو عدم السماح كلية بدخول الأكسجين الذى يعد ضروريا لصور الحياة المختلفة . لذا كان من الضرورى استخدام أحد المواد المرشحة التى تمنع دخول الكائنات الحية الدقيقة ولكن فى نفس الوقت تسمح بمرور الهواء . وقد أدى ذلك إلى التطور الخاص باستخدام السدادات القطنية التى عم استخدامها بعد ذلك بواسطة الباحثين فى مجال الميكروبيولوجيا . ومع ذلك فمن أبسط

الطرق وأكثرها ذكاء هى الطريقة التى استخدمت للحيلولة دون دخول الكائنات الحية الدقيقة إلى الدورق الزجاجى الذى استخدمه باستير والذى صمم ليأخذ عنقه شكل رقبة طائر البجع (شكل ١ - ٣) حيث اعتمد على أن الكائنات الحية الدقيقة فى الهواء والتى تدخل عن طريق فوهة الأنبوبة الملتوية والطويلة تمر فى بطء شديد وحيث تترسب على جدر هذه الأنبوبة تحت فعل الجاذبية الأرضية . ولقد أظهر باستير أن مثل هذه الدوارق الزجاجية على الرغم من تركها مفتوحة فإنها تبقى معقمة ولفترات غير محددة . وبهذه الطريقة البسيطة تمكن هذا العالم من تفنيد الرأى الذى ينادى بالتوالد الذاتى .



(شكل ١ - ٣) دورق زجاجى تأخذ فوهته شكل رقبة طائر البجع والذى استخدمه باستير لتفنيد نظرية التوالد الذاتى

وعلى الرغم من عبقرية وقوة شخصية باستير التى دفعت بعلم الميكروبيولوجيا وتطوره فى مراحله الأولى حتى أرسى دعائمه كعلم مستقل إلا أنه فى أواخر حياته قد أدى إلى الحد من التطور المستمر فى هذا العلم نظرا للاحساس العام بأن « باستير لا يخطىء وأنه دائما على صواب » . فعلى سبيل المثال نجد أنه كان يعتقد بشدة فى أن عمليات التمثيل الغذائى التى تقوم بها الميكروبات مثل عملية التخمر من أهم خصائص الكائنات الحية وأنها لايمكن أن تتم فى غياب الخلايا الحية ، ولقد ظل معتنقا هذه الفكرة لفترة طويلة ولا شك أنه فى العلوم كما فى غيرها من نواحى الحياة نجد أن إعاقة التقدم هو الثمن الذى قد ندفعه غالبا نتيجة للاعتقاد الدائم فى عبقرية نفر من العلماء .

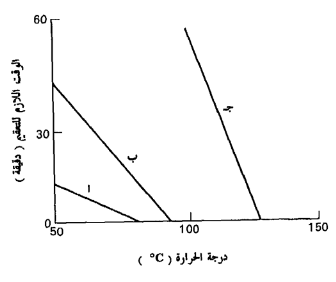
وقد تم فعلاً مع نهاية القرن التاسع عشر تطور طرق التعقيم والتى ما زالت تستخدم فى وقتنا الحاضر ، وفيما يلى عرض ملخص لهذه الطرق .

الحرارة :

عند رسم العلاقة اللوغاريتمية الناشئة بين النسبة المئوية للكائنات الحية المقاومة للحرارة من ناحية ، والوقت من الناحية الأخرى نجد أن الخط الناشيء يختلف فى طبيعة انحداره من كائن حى لآخر ، ولكن عند اختيار الطريقة العامة للتعقيم فلابد وأن يستخدم الوقت ودرجة الحرارة التى تضمن قتل جميع الكائنات الحية بما فى ذلك الجراثيم المقاومة للحرارة أيضا . ويوضح ذلك الشكل (١ — ٤) حيث يلاحظ أنه عند استخدام مدة زمنية تعادل ٣٠ دقيقة للتعقيم فان ميكروب « أ » يتطلب استعمال درجة حرارة 50° فى حين أن الميكروب «ب» يحتاج إلى 70°-60 بينما نجد أن معلق الجراثيم يلزم له درجة حرارة أعلى تعادل 120° . وعموما من الطرق العامة المستخدمة فى هذا المجال ما يأتى :

(أ) الحرارة الرطبة فى جهاز الأوتوكلاف . وعادة ما تستخدم بمدة 30 دقيقة مع ضغط جوى يعادل 1.05 كجم/ سم٢ (15 رطل/ البوصة المربعة) لتعطى درجة حرارة تعادل 121° وتعد هذه الطريقة أكثر كفاءة فى حالة إمكان استخدامها عمليا .

(ب) التعقيم المتقطع بالبخار . وهى الطريقة التى اخترعها العالم تيندال والتى تسمى أحيانا باسمه . حيث يتم التعقيم باستخدام درجة حرارة البخار (100°) . وعلى ثلاث



(شكل ١ — ٤) منحنيات الموت الناشئة عن استخدام المعاملة الحرارية فى تعقيم معلقين من الخلايا الخضرية للكائنات الحية الدقيقة (أ ، ب) بالاضافة إلى معلق للجراثيم (جـ) .

فترات يفصل بين كل فترة والثانية يوم كامل . حيث أن الجراثيم المتبقية بعد التعقيم لأول مرة يتم إنباتها بعد انخفاض درجة الحرارة وبذلك نجد أن الخلايا الخضرية المتكونة يتم قتلها عند إجراء التعقيم للمرة الثانية أو الثالثة فى الأيام التالية . وتستخدم هذه الطريقة للمواد والبيئات المغذية التى قد تتأثر باستخدام درجات حرارة أعلى من 100° عند التعقيم بالأوتوكلاف .

(جـ) الحرارة الجافة . يعتبر الماء من العوامل المشجعة على قتل الكائنات الحية الدقيقة ، وفى حالة غياب الماء – كما فى حالة استخدام الفرن الجاف – يلزم عادة استخدام درجات حرارة تصل إلى 160° ولمدة ساعتين .

(د) البسترة . ولا تعتبر البسترة من إحدى طرق التعقيم نظرا لأنها تستخدم وقتا لا يعد كافيا لقتل جميع الكائنات الحية ، مثل استخدام 60° لمدة 30 دقيقة . وتؤدى هذه المعاملة إلى قتل أغلب الميكروبات المسببة للأمراض والموجودة فى المنتجات الغذائية الطبيعية مثل اللبن ومنتجاته وذلك دون التأثير على خصائص اللبن المختلفة من طعم ولزوجة وخلافه .

الترشيح :

يمرر الغاز أو السائل المراد تعقيمه خلال مرشح خاص تعمل ثقوبه على احتجاز خلايا الكائنات الحية الدقيقة . ولقد سبق الحديث عن استخدام السدادات القطنية لتعقيم الغازات ؛ فى حين أنه بالنسبة للسوائل توجد مجموعة من المرشحات التى يمكن استخدامها والمصنوعة من مواد مختلفة مثل الأسبستوس (مرشح زايتس) أو نترات السليولوز (المرشحات الغشائية ، مثل أقراص ترشيح ميلليبور) . ويعتبر الترشيح الميكروبيولوجى من أفضل الطرق المستخدمة فى تعقيم السوائل التى تحتوى على مكونات حساسة للحرارة .

الإشعاع :

تعتبر بعض الموجات الاشعاعية قاتلة للميكروبات . فتعد الأشعة فوق البنفسجية ذات كفاءة خاصة فى تعقيم الهواء ، ومع ذلك فإن لها قدرة محدودة فى اختراق الأجسام الصلبة والوصول إلى مكوناتها الداخلية مما يستدعى فى مثل هذه الأحوال استخدام أشعة مـأينة من مصدر مشع مثل الكوبالت المشع .

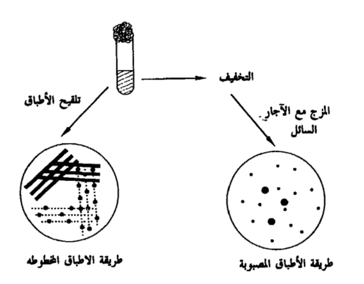
المواد الكيميائية :

تعمل العديد من المواد الكيميائية على قتل الميكروبات ولكن ذلك يستلزم استخدام مدداً أطول للتعريض حتى يتم التعقيم الكامل ، هذا بالإضافة إلى أنه من الصعب إزالة هذه المواد الكيميائية والتخلص منها . وتعد محاليل فوق الكلوريد ؛ ومشتقات الفينول من المحاليل المطهرة الشائعة الاستعمال فى المعامل ، كما يستخدم غاز أكسيد الايثيلين فى بعض الأغراض الخاصة . ولكن يلزم التأكيد هنا على أن المواد الكيميائية المستخدمة كمطهرات نادراً ماتؤدى إلى التعقيم الكامل تحت أغلب الظروف التى تستخدم من أجلها .

طرق الحصول على المزارع النقية :

بمجرد أن أمكن تعقيم البيئات الميكروبية أصبح ممكنا من الناحية النظرية عزل الميكروبات على هيئة مزارع نقية . ولكن على الرغم مما أظهره باستير من أن أنواع مختلفة من التخمرات والتعفن يصاحبها نمو ميكروبات مختلفة من الناحية المورفولوجية (مثل الخمائر فى التخمر الكحولى ، أنواع مختلفة من البكتريا فى التخمر اللاكتيكى والخليكى والبيوتريكى) إلا أن بعض العلماء اعتقد اعتقادا راسخا بأن الكائنات الحية الدقيقة – وخاصة كل البكتريا – ما هى إلا أشكال مختلفة لميكروب واحد ، وهذا ما أطلق عليه بنظرية تعدد الأشكال المورفولوجية . فى حين أن الآخرين من العلماء أكدوا تميز كل نوع من الميكروبات بشكل واحد ومحدد له ، بمعنى أن هناك عددا كبيرا من الكائنات الحية الدقيقة المختلفة ممكن الحصول على كل منها على حالة مزارع نقية . ولإمكان ذلك كان لزاما استخدام طرق تعتمد على إدخال خلية ميكروبية واحدة فى أحد الأوانى الزجاجية التى تحتوى على بيئة مغذية ومعقمة . ولسوء الحظ فإن صغر الحجم المتناهى للكائنات الحية الدقيقة جعل من الصعب فصل الخلايا الميكروبية ميكانيكيا ، ولكن فى الحقيقة فإن ظهور طريقة النقل الدقيق بواسطة الميكروسكوب (جهاز الميكرومانيبيولاتور) جعل هذا ممكنا ولكن يعاب على هذا الجهاز صعوبة استخدامه وتعقيده بالنسبة للاستخدامات العامة . لهذا اكتشف بدلا من ذلك طرق أخرى تعتمد على تخفيف العينة المستخدمة بدرجة تسمح بالفصل بين الخلايا الميكروبية الموجودة بها مما يساعد فى النهاية على نمو كل خلية على حدة مكونة مزرعة نقية . وأولى هذه الطرق تعتمد على إجراء تخفيف للمزرعة الميكروبية حتى نصل فى النهاية إلى حجم من السائل يحتوى على خلية واحدة حيث يمكن التأكد من ذلك بعد معرفة

العدد الأول للخلايا الموجودة فى المزرعة المختبرة . ولكن تعتبر مثل هذه الطريقة مجهدة وغير دقيقـة ويمكـن استخدامهـا فقـط لفصل الميكروبـات السائـدة فى وسط ما . لذا فإنها نادرا ما تستخدم حاليا فى حين بدأ الباحثين فى استخدام طرق التخفيف على البيئات الصلبة ، حيث يوضع جزء من العينة على حافة بيئة صلبة معقمة فى طبق بترى ثم بعد ذلك تستخدم إبره التلقيح لعمل عدة خطوط من هذا الجزء من العينة ــ أو اللقاح كما يسمى عادة ــ على سطح البيئة ، حيث أن كل تخطيط يمثل عملية تخفيف ويتم فى النهاية الحصول على بعض الخلايا المفردة المجاورة لبعض هذه الخطوط والتى تنمو بصورة منفردة مكونة مستعمرة بكتيرية بعد فترة التحضين ، تستخدم بعد ذلك كمصدر للحصول على المزرعة النقية . وتعتبر طريقه التخطيط هذه بهدف الحصول على المزارع النقية من الاكتشافات الرائدة للعالم الألمانى روبرت كوخ الذى تأكد من أن أكثر الأسطح كفاءة لهذا الغرض هو سطح البيئات الصلبة ، ولقد استخدم لهذا الغرض فى البداية الجيلاتين كمادة مجمدة ولكن كان يعيبها أنها تصبح سائلة عند درجات حرارة أعلى من 28° ؛ بالإضافة إلى أنها كمادة بروتينية تتمكن بعض الميكروبات من تحليلها . ثم اكتشفت بعد ذلك مادة مجمدة كربوهيدراتية تعد مثالية لهذا الغرض ؛ وهى مادة الآجار آجار (والتى عادة ماتسمى بالآجار) الموجودة فى بعض الحشائش البحرية ، وتنصهر البيئات المحتوية على هذه المادة على 100° ولا تتجمد مرة ثانية إلا عند انخفاض درجة حرارتها إلى ما دون 40° هذا



(شكل ١ — ٥) الطرق المستخدمة للحصول على المزارع النقية للكائنات الحية الدقيقة . تحتوى المزرعة الأصلية المستخدمة كمثال هنا على نوعين من الكائنات الحية أحدهما يكون مستعمرات كبيرة والآخر يتميز بأن مستعمراته صغيرة الحجم .

بالإضافة إلى أن مادة الآجار لايهاجمها إلا عدد قليل من الكائنات الحية الدقيقة ، ولهذه الخصائص الفريدة استخدمت مادة الآجار لإجراء طريقة أخرى بديلة للأطباق المخطوطة تسمى بطريقة الأطباق المصبوبة ، حيث تخلط عينة مخففة من الكائنات الحية الدقيقة تحت الدراسة مع كمية من بيئة الآجار المغذى المنصهرة والمحفوظة على درجة حرارة تعلو بقليل درجة تجمد الآجار ثم يصب الخليط فى وعاء مناسب (طبق بترى) ويحضن بعد ذلك حيث تنتج كل خلية مستقلة مستعمرة بكتيرية فى بيئة الآجار المغذى .

وباستخدام مثل هذه الطرق تمكن العالم الألمانى روبرت كوخ وغيره من الباحثين من أن يعزو الإصابة ببعض الأمراض إلى تواجد ميكروبات معينة . ثم استخدمت هذه الطرق بعد ذلك فى دراسة الميكروبات المختلفة والموجودة فى الأوساط البيئية الطبيعية . ومع ذلك فإن استخدام بيئة ملائمة لنمو معظم الكائنات الحية الدقيقة لايسمح عادة إلا بعزل الميكروبات السائدة . فلو أخذنا على سبيل المثال الكائنات الحية الدقيقة المستوطنة لفم الإنسان ، نجد أن العينة الممثلة تحتوى على المجاميع الميكروبية التالية (عدد الميكروبات الموجودة فى كل سم^3 من اللعاب) : خمائر 100 ، بكتريا حامض اللاكتيك 2×10^4 ، البكتريا الكروية العنقودية 1×10^4 ، عصويات الدفتريا 3×10^6 ، البكتريا الكروية فى سلاسل 5×10^7 ، البكتريا الكروية فى تجمعات غير منتظمة واللاهوائية 1×10^7 البكتريا الكروية فى أزواج واللاهوائية 1×10^8 وعند رغبتنا فى عزل بعض الكائنات الحية الدقيقة النادرة الوجود على صورة مزارع نقية فلابد وأن نختار بعض الظروف البيئية التى تشجع من نمو هذه الكائنات ، وذلك على حساب غيرها من الكائنات غير المرغوب فيها . ومن الممكن تحقيق ذلك إما بإجراء عملية إكثار مبدئية أو باختيار البيئات الغذائية أو الظروف البيئية الملائمة أثناء عمليتى التخفيف والتنمية . وفيما يلى عرض لبعض الطرق المستخدمة فى انتخاب وإكثار مجموعات معينة من الكائنات الحية الدقيقة :

(أ) التنمية على درجات حرارة مرتفعة (مثل 50°) تفوق درجة الحرارة العظمى لنمو معظم الكائنات الحية الدقيقة مما يؤدى إلى انتخاب الأنواع المحبة للحرارة . وبالمثل فإنه ببسترة العينة (صفحة 19) قبل التنمية فإن الجراثيم هى التى تبقى وتنمو بعد ذلك لإمكان عزلها .

(ب) التنمية فى غياب أحد مصادر النتروجين بالبيئة المغذية ولكن فى وجود الهواء مما

يسمح بنمو الكائنات التى لها القدرة على استخدام النتروجين الجوى والتى يطلق عليها بالكائنات الحية الدقيقة المثبتة للنتروجين الجوى (صفحة 113) .

(جـ) التنمية فى غياب الأكسجين والذى يؤدى إلى تشجيع الكائنات الحية غير الهوائية (صفحة 91) .

(د) تستطيع الكائنات الحية الدقيقة التى تعيش فى أمعاء الإنسان النمو فى وجود تركيزات من أملاح الصفراء التى تعمل عادة على تثبيط معظم الميكروبات الأخرى . وعلى هذا فإن استخدام بيئة مغذية تحتوى على العناصر الغذائية الملائمة ومضاف إليها أملاح الصفراء تشجع من نمو مجموعة البكتريا المعوية ، وتستغل هذه الخاصية كأساس للطرق المستخدمة فى اختبار مدى تلوث مصادر المياه المختلفة بالبراز ومياه المجارى (صفحة 147) .

فيما سبق تعرضنا لبعض الأمثلة توضح مدى إمكانية استخدام الظروف البيئية للعمل على الزيادة العددية للكائنات الحية الدقيقة المرغوب عزلها والموجودة مختلطة مع غيرها من الميكروبات ثم الحصول عليها على هيئة مزرعة نقية . وباستخدام مثل هذه الطرق ومثيلاتها تمكن علماء الميكروبيولوجيا من التعرف على القاعدة العريضة من الكائنات الحية الدقيقة الموجودة فى الطبيعة . وعندئذ فقط بزغ علم الميكروبيولوجيا كعلم مستقل فى حينه .

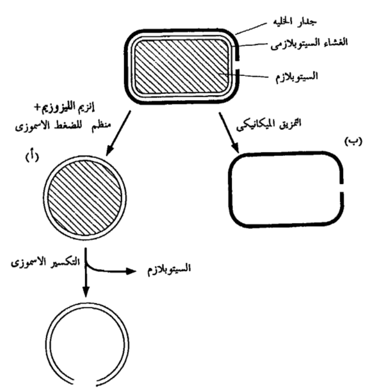
الفصل الثانى

تركيب الكائنات الحية الدقيقة

ساعد اكتشاف الميكروسكوب الضوئى على تحديد الشكل العام للخلايا بالإضافة إلى طريقة تجمع الخلايا بالنسبة للكائنات عديدة الخلايا . بالإضافة إلى ذلك فقد أمكن مشاهدة بعض التركيبات الداخلية لهذه الخلايا باستخدام ميكروسكوب تباين الأطوار أو باستعمال طرق الصبغ المختلفة . ومعظم الصبغات المستخدمة – مثل الصبغات القاعدية ــ تعتبر غير متخصصة لحد كبير وذات فائدة محدودة فى التعرف على الطبيعة الكيميائية ووظيفة مكونات الخلية المختلفة ، بينما البعض الآخر يكون أكثر تخصصا فصبغة السودان الأسود تصبغ الحبيبات الدهنية وكذلك محلول اليود يميز جزئيات النشا . أما فى حالة الكائنات الحية الدقيقة المتناهية فى الصغر مثل البكتريا (التى يصل قطرها الى 0.5 μm ، تقريبا) فإنها تكاد ترى بالميكروسكوب الذى لا تتجاوز قوة إيضاحه جسيمات فى حدود 0.2 μm لذا فإن التعرف على تركيبها ومكوناتها الداخلية والدقيقة اعتمد اعتمادا كبيرا على إدخال الميكروسكوب الالكترونى الذى كان له دور كبير فى هذا المجال ولكن مع الوضع فى الاعتبار الأشكال الزائفة التى قد تنشأ عن الطرق المستخدمة فى تحضير العينات ، ولو أنه من الممكن تلافى هذه الأشكال باختيار المجالات الميكروسكوبية المناسبة أثناء الفحص . هذا بالإضافة إلى أنه فيما يختص بأبحاث علوم الخلية فمن الممكن أن يتخير الباحث أثناء الفحص الميكروسكوبى المجال الملائم لما يبحث عنه من مكونات الخلية . وهنا يلفت الانتباه الشعر الذى ألفه هيللر بيللوك ، والذى يدل على رؤية ثاقبة وخيال واسع لما يمكن أن يكون عليه خلية الميكروب وتركيبها . وعلى الرغم من أن نظرة بيللوك البعيدة لم تتنبأ بالتركيب الداخلى وتكوينات الخلية الميكروبية إلا أن المجموعة الأخيرة من أبيات شعره قد تعبر عن وجهة نظر علماء الخلية

والتى تعتمد على مبدأ استقلالية ووحدة الخلية مع الحد بقدر الإمكان من الإمعان فى التصور والخيال .

ومن المشاكل الرئيسية فى دراسات الميكروسكوب الالكترونى تقديم التفسير اللازم لكل من الطبيعة الكيميائية والوظيفية لكل التركيبات والمكونات التى تشاهد تحت الميكروسكوب ، ولسوء الحظ لاتتوفر إلا القليل جدا من الصبغات شديدة التخصص ، ولو أن هناك أهمية كبيرة لاستخدام الأجسام المضادة المعلمة بواسطة بعض المواد غير المنفذة للالكترونات ؛ مثل الفيرِّيتين والتى لم ينتشر استعمالها انتشارا واسعا حتى الآن نظراً لبعض المصاعب التقنية فى هذا المجال . لذا فإن الطرق الرئيسية المستخدمة الآن لدراسة مكونات الخلية المتعددة وربطها بوظائفها المختلفة تعتمد على تكسير الخلية الميكروبية وفصل مكوناتها الأساسية ؛ والتى يجرى تحليلها كيميائيا فيما بعد . ولكن هذه الطريقة تعترضها مشكلة فصل مكونات الخلية الحساسة دون التغيير فى طبيعتها خاصة بالنسبة للخلايا البكتيرية الصغيرة الحجم والمحاطة بجدر خلوية صلبة .



(شكل ٢ – ١) الطريقتان المستخدمتان فى تكسير الخلايا البكتيرية
(أ) تشتمل على المعاملة بانزيم الليزوزيم فى وجود منظم للضغط الاسموزى ثم التحلل المنتظم .
(ب) تشتمل على التمزيق الميكانيكى بواسطة كريات زجاجية .

ومع هذا فقد حدث تقدم مضطرد فى الطرق المستخدمة فى تكسير الخلية البكتيرية لدرجة أنه من الممكن الآن فصل معظم مكونات الخلية على حالة نقية مع الاحتفاظ بوظائفها الحيوية بصورة طبيعية . وفيما يلى مثالان لتكسير الخلية البكتيرية وفصل مكوناتها (شكل ٢ — ١) :

١ – الرج الشديد لمعلق من الخلايا البكتيرية فى وجود كريات زجاجية مما يؤدى إلى نزع جدر الخلية وانفصال محتويات السيتوبلازم وتحررها ، وعندئذ يمكن جمع جدار الخلايا بواسطة الطرد المركزى ، ثم معاملتها بمذيبات عضوية وأنزيمات معينة للتخلص مما يشوبها من مواد الخلية الأخرى . وتحتفظ جدر الخلايا الناتجة عن هذه الطريقة بشكلها الأصلى كما أنها تعتبر خاملة من ناحية التمثيل الغذائى . ويمكن إذابة جدر الخلايا البكتيرية إذابة كاملة وذلك بالنسبة لقليل من الأنواع البكتيرية باستخدام أنزيم الليزوزيم الذى يعتبر من إحدى نواتج إفرازات وسوائل الخلايا الحيوانية .

٢ – إن تعريض خلايا بعض أنواع البكتريا الحساسة لانزيم الليزوزيم يؤدى إلى التحلل التام للخلايا ولكن إذا ما أجريت هذه العملية فى محلول ذو تركيز اسموزى متعادل مثل محلول السكروز المتساوى الأسموزيه فإنه بعد ذوبان جدار الخلية يأخذ البروتوبلازم الناتج شكلا مستديرا يطلق عليه اصطلاح البروتوبلاست والذى يتضح نتيجة لفحص قطاعات رقيقة منه بواسطة الميكروسكوب الالكترونى أنه محاط بتركيب متخصص يسمى الغشاء السيتوبلازمى . وتشير هذه التجربة البسيطة إلى ما يلى :

(أ) إن جدار الخلية يكسبها شكلها المميز طالما أن البروتوبلاست دائما ما يأخذ شكلا كرويا بغض النظر عن شكل الخلية الأصلى .

(ب) يعزى صلابة الخلية إلى الجدار الخلوى حيث أن البروتوبلاست المنزوع منه جدار الخلية يكون عرضة للتحلل الأسموزى على عكس الخلية ذاتها .

(جـ) يعتبر الغشاء السيتوبلازمى وليس جدار الخلية هو المسؤول عن النفاذية الاختيارية للخلية حيث أن هذه الخاصية لاتتأثر بالنسبة للبروتوبلاست بعد نزع جدار الخلية .

وعند تعرض البروتوبلاست للتحلل الأسموزى المتدرج والمنضبط بتقليل التركيز الأسموزى للمحلول الخارجى فإن الغشاء السيتوبلازمى يتمزق محرراً السيتوبلازم . ثم يستخدم بعد ذلك الطرد المركزى التفريقى لفصل الأغشية ومكونات السيتوبلازم المختلفة والتى من المتوقع عدم تأثرها نتيجة لاستخدام طريقة التحلل المعتدلة هذه .

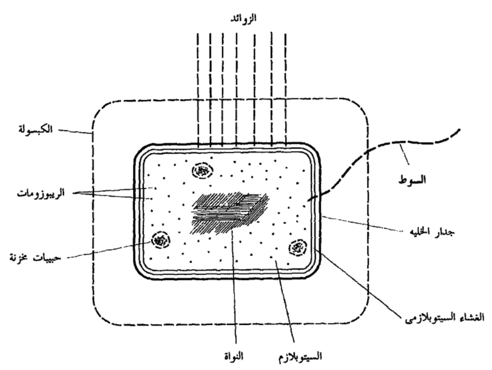
ولقد أمكن حديثا وباستخدام الطرق السابقة الذكر دراسة تركيب مكونات الخلية ووظيفة كل منها على حدة وذلك بالنسبة لبعض الخلايا النموذجية . ولقد اتضح نتيجة لهذه الدراسات وجود نوعين أساسيين من الخلايا أحدهما ذو نواه غير مكتملة وبدائية والأخرى ذو نواه حقيقية ومميزة . وتقتصر خلايا النوع الأول على مجموعة من الكائنات الحية الدقيقة (بكتريا – طحالب خضراء مزرقة) فى حين أن النوع الثانى تمثله خلايا بعض مجاميع الكائنات الحية الدقيقة (فطر – بروتوزوا – طحالب فيما عدا الطحالب الخضراء المزرقة) وكل من الحيوان والنبات . بالإضافة إلى ذلك توجد الفيروسات التى تتميز بتركيب غير خلوى يعد أكثر بساطة سوف نتكلم عنه بشىء من التفصيل فى نهاية هذا الفصل . وبادىء ذى بدء سنتناول الخلايا ذات النواة البدائية .

الخلايا بدائية النواة :

يوضح شكل (٢ – ٢) مكونات هذا النوع من الخلايا مع ملاحظة أن المكونات المرسومة بخط كامل توجد فى أغلب الخلايا فى حين أن التراكيب الأخرى التى تختلف فى وجودها تبعا لنوع الكائن الحى وظروف تنميته قد رسمت بخط متقطع . وتبين الصورة (٢ — ١ ، الموجودة بصفحة ٣٤) تركيب هذا النوع من الخلايا عند فحص قطاعات رقيقة منها بواسطة الميكروسكوب الالكترونى .

الحجم :

على الرغم من أن حجم الخلايا بدائية النواة يتراوح بين حد أدنى تمثله ميكروبات الميكوبلازما (كرويات بقطر 0.12 µm تقريبا) وحد أقصى تمثله خلايا الطحالب الخضراء المزرقة مثل التابعة لجنس Oscillatoria (عصويات ذات أبعاد تصل إلى 5 X 20 µm) فإن معظم الخلايا يكون قطرها فى حدود الميكرومتر الواحد .



شكل ٢ - ٢ .
رسم تخطيطى يمثل خليه بدائية النواه نموذجية . التراكيب التى تختلف فى وجودها من خليه لأخرى موضحة على شكل خط متقطع .

الغشاء السيتوبلازمى

يعتبر الغشاء السيتوبلازمى هو الطبقة المحيطة ببروتوبلاست الخلايا بدائية النواة ، والذى يظهر تحت الميكروسكوب الالكترونى على صورة تركيب ذو ثلاث طبقات يتكون من طبقتان لا تسمحان بمرور الالكترونات بينهما طبقة أخرى منفذه لها (صورة ٢ - ١ الموجودة بصفحة ٣٤) . ويعتبر هذا التركيب مميزا لمعظم الأغشية ذات النفاذية الاختيارية الموجودة بخلايا الكائنات الحية وهذا ما يطلق عليه بأصطلاح «وحدة الغشاء» . وقد تم تحديد التركيب الكيميائى للغشاء السيتوبلازمى وذلك بإجراء التحليلات اللازمة بعد فصله عن بروتوبلاست الخلية باستخدام التحلل الاسموزى المتدرج (انظر صفحة 27 ، 28) . وتتمثل المكونات الأساسية لهذا الغشاء فى الليبيدات والبروتينات الموجودة بكميات متماثلة تقريبا وذلك على صورة تركيب ثلاثى حيث تحيط طبقتان من البروتين بطبقة وسطية من الليبيدات ، أو غالبا ما تكون على هيئة طبقة ليبيدات تتحد بصورة غير كاملة مع البروتينات وذلك من السطح الداخلى أو

الخارجى أو تتغلغل داخل الغشاء نفسه . ولو أن البعض يعتقد أن مثل هذا التركيب ماهو إلا تكوينات غير حقيقية تنشأ عن عمليات تثبيت العينات قبل فحصها ميكروسكوبيا . وتتشابه بروتينات الغشاء السيتوبلازمى مع البروتينات المكونة لسيتوبلازم الخلية من حيث مكوناتها من الأحماض الأمينية ، فى حين أن الليبيدات (عادة فوسفوليبيدات) تعتبر مميزة للغشاء السيتوبلازمى وحيث تختلف من ميكروب لآخر . وهذا النوع من الخلايا يختلف عن الخلايا حقيقية النواة فى عدم احتواء أغشيتها السيتوبلازمية عادة على الاستيرولات .

ومن الوظائف التى يمكن أن يقوم بها الغشاء السيتوبلازمى ما يلى :

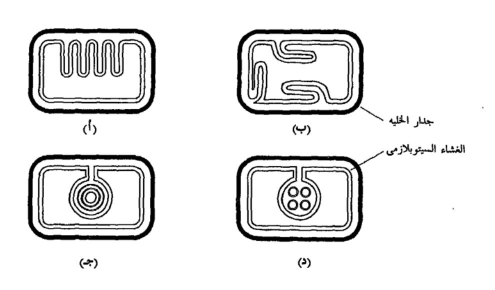
(أ) طبقة شبه منفذة . تعتبر وظيفة النفاذية الاختيارية والمتعلقة بالسماح بدخول وخروج بعض الجزئيات دون غيرها من وإلى الخلية فى غاية الأهمية ، والتى فى حالة توقفها يمكن لمواد التمثيل الغذائى الهامة أن تتسرب خارج الخلية مما يؤدى فى النهاية إلى موتها . ويستلزم انتقال الجزئيات عبر الغشاء السيتوبلازمى فى أى من الاتجاهين خارج أو داخل الخلية اتحادها بطريقة متخصصة مع جزئيات بروتينية يطلق عليها مجموعة أنزيمات البرميز والتى تدخل فى تركيب الغشاء السيتوبلازمى ذاته . ونظرا للتخصص الشديد فى عملية الاتحاد هذه فإنه يلزم تواجد أعداد كبيرة من انزيمات البرميييز فى كل خلية على حده . وقد يلزم لعملية النفاذية الاختيارية توفر الطاقة والتى تنتج من عمليات التمثيل الغذائى وقد يحدث بالتالى زيادة تركيز الجزئيات داخل السيتوبلازم مقارنة بتركيزها فى الوسط المحيط بالخلية .

(ب) إنتاج الطاقة . يعتبر الغشاء السيتوبلازمى مركز حدوث تفاعلات الطاقة عن طريق الفسفرة والتى تؤدى فى النهاية إلى تحول جزئيات **ADP** إلى **ATP** ، وعلى هذا يحتوى الغشاء السيتوبلازمى على الانزيمات وغيرها من الجزئيات الناقلة واللازمة لمثل هذه التفاعلات . وسوف نعرض لذلك بالتفصيل فى الفصل الخامس .

(جـ) تكوين المركبات عديدة البلمرة خارج الخلية . تعمل الانزيمات الموجودة فى الغشاء السيتوبلازمى على تحفيز الخطوات النهائية واللازمة لتخليق المركبات عديدة البلمرة والتى تدخل فى تركيب جدار الخلية والكبسولة والسوائل الخارجية . إلا أن البروتينات الخارجية والمكونة للأسواط والزوائد من المفترض أنها تتكون بواسطة ريبوزومات الخلية والتى تتغلغل بطريقة خاصة إلى الحيز الخارجى للخلية .

(د) موقع التصاق كروموزوم الخلية . يفترض من المناقشة السابقة أن الغشاء السيتوبلازمى يعد بسيط فى تركيبه ويبطن جدار الخليه من الداخل . إلا أن بعض الالتفافات قد تحدث فى طبقات الغشاء مؤدية إلى ظهور تكوينات معقدة تأخذ إحدى الأشكال الثلاثة التالية :

(أ) الالتفافات المتكونة على صورة ألواح متوازية (شكل ٢ ــ ٣أ) أو (ب) التفافات على شكل أنابيب (شكل ٢ – ٣ب) . وكلا النوعين من الالتفافات يعمل بكفاءة على زيادة مساحة سطح الخلية ،(جـ) الميزوزومات (شكل ٢ – ٢ ، ٢ – ٣ جـ ، د) . والتركيب الأخير أكثر تخصصا على الرغم من الاحتمال الكبير لاستمرارية هذا التركيب أيضا واتصاله بالغشاء السيتوبلازمى . ويعد الدور الذى تلعبه هذه التراكيب غامض حتى الآن إلا أنها قد تلعب دورا ما فى عملية التصاق كروموزوم الخلية ثم انفصاله عند التضاعف (انظر أسفل) أو فى إنتاج الجدر العرضية اللازمة لانقسام الخلية (انظر شكل ٢ – ٣) . ولا تعتبر التكوينات السابقة عامة إلا أنها توجد بصورة منتشرة فى قطاع عريض من الخلايا البكتيرية .



شكل ٢ – ٣ أنواع الالتفافات التى تحدث فى الغشاء السيتوبلازمى للخلايا بدائية النواه

السيتوبلازم :

يحتوى الغشاء السيتوبلازمى بداخله على السيتوبلازم الذى يحتوى على الأنزيمات ومرافقات الأنزيمات ومواد التمثيل الغذائى ونواتجه . ويشتمل الدور الأساسى للسيتوبلازم على تهيئة الوسط الملائم لحدوث عمليات التمثيل الغذائى وعلى انتقال الجزيئات من مكان لآخر بداخل الخلية .

النواة :

من الممكن استخدام بعض الصبغات المتخصصة لمشاهدة وتحديد المنطقة النووية فى وسط الخلية ولكن شريطة العمل على إزالة الحمض النووى من النوع **RNA** الموجود فى سيتوبلازم الخلية والذى يعمل عادة على حجب رؤية هذه المنطقة النووية . ومع ذلك فقد لا يشاهد إلا القليل من التراكيب الداخلية فى نواة هذا النوع من الخلايا بالإضافة إلى – على الرغم من حدة الجدال فى هذا الخصوص – عدم حدوث عملية الانقسام الميتوزى . وتظهر هذه النواة تحت الميكروسكوب الالكترونى على هيئة منطقة غير محددة ليفيه دون أن يحدها غشاء نووى . ونظرا لاختلاف هذه النواة فى شكلها عن النواة الحقيقية والمميزة فى الكائنات الحية الأخرى فقد أطلق عليها العديد من الأسماء (الجسم النووى – النيوكلويد ...) ، ولكن فى ضوء ما حدد من تركيبها الأساسى ومكونها الهام (حمض **DNA**) فإنه يفضل تسميتها ببساطة بالنواة البدائية .

ولكن لسوء الحظ فإن عدم وجود غشاء نووى لايساعد على سهولة فصل وتنقية الحمض النووى لهذه الخلايا حيث نلاحظ أنه بعد تكسير الخلية بالطرق السابق شرحها يحدث تحلل للنواة مما يؤدى إلى تحرر كروموزوم الخلية على صورة خيط دائرى يتكون من ضفيرتين من الحمض النووى **DNA** . والذى يصل طوله إلى (1000- 2000 μm) 1- 2 mm . ونظرا لأن طول هذا الكروموزوم يفوق طول الخلية ذاتها آلاف المرات فإننا نلاحظ التفاف هذا الخيط بانتظام فى داخل النواة ليعطى فى النهاية حزم من الخيوط المتعددة التى يسهل مشاهدتها عند فحص قطاعات رقيقة من هذه الخلايا تحت الميكروسكوب الالكترونى ، وعلى الرغم من مشاهدة كروموزوم واحد فى عدد قليل فقط من البكتريا إلا أن الأدلة الوراثية على وجود مجموعة ارتباط أحادية فى العديد من الميكروبات الأخرى تشير إلى وجود كروموزوم واحد فى جميع الخلايا بدائية النواة .

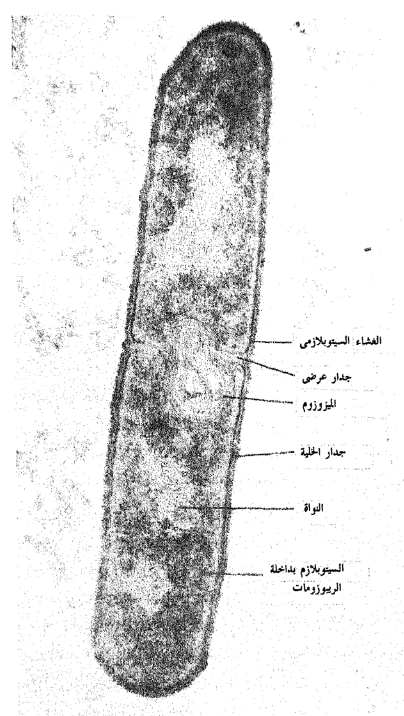
ولعل وجود كروموزوم واحد جعل من غير الضرورى حدوث عملية الانقسام الميتوزى المعقدة أو وجود غشاء نووى ، ولكن بدلا من ذلك توجد نقطة التصاق فيما بين منطقة معينة من الكروموزوم والغشاء السيتوبلازمى (أو الميزوزوم) . وعلى هذا تكون الخطوة الأولى لانقسام النواة هى تضاعف موقع الالتصاق هذا والذى يعقبها مباشرة توالى انقسام خيط الحمض النووى DNA ، وعندئذ تبتعد كل من النواتين المتكونتين عن الأخرى بانفصال مواقع الالتصاق هذه .

ولا يبدو أن الشحنات الموجودة على الحمض النووى DNA فى الخلايا بدائية النواة تعادل بواسطة بروتينات قاعدية كما هو الحال بالنسبة للكائنات حقيقية النواة . وعلى هذا نجد أن خيوط النواة تكون منفصلة إلى حد ما عن بعضها دون حدوث حالة من التكثيف مما قد يسمح لكل من نواتج التمثيل الغذائى الوسطية والأنزيمات الضرورية وكذلك الحمض النووى RNA بالمرور عبرها .

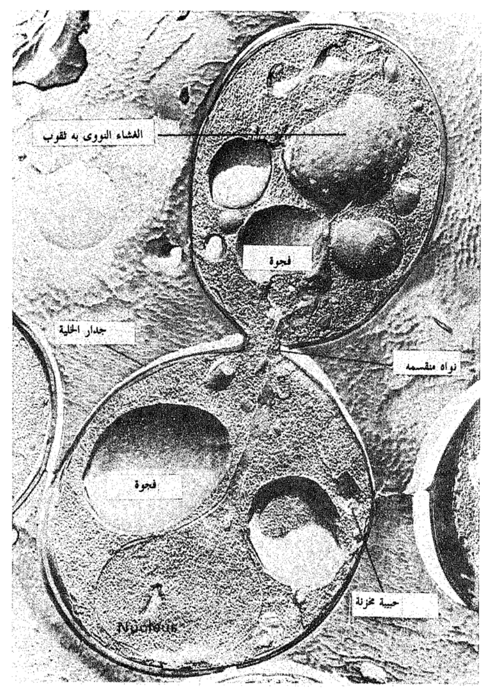
الريبوزومات :

تظهر الريبوزومات فى القطاعات الرقيقة للخلايا وعند فحصها تحت الميكرسكوب الالكترونى على هيئة جزيئات معتمة نسبيا تصل فى قطرها إلى حوالى .20 nm ويمكن عزل هذه الجزيئات من الخلايا بعد تكسيرها وذلك بطريقة الطرد المركزى التفريقى باستخدام محاليل سكروز متدرجة التركيز كوسط سائل لعملية الفصل . وتتكون الريبوزومات من وحدتين تركيبتين ذات ثابت ترسيب قدره 30 S ، 50 S على التوالى والتى باتحادهما سويا تعطى جزيئا كاملا ذو ثابت ترسيب يعادل 70 S ويعتبر مميزا لريبوزومات الخلايا بدائية النواة . وتوجد الريبوزومات على حالة حرة فى سيتوبلازم الخلية ولا تكون مرتبطة بغشاء كما هو فى حالة خلايا الكائنات الحية حقيقية النواة ، وذلك برغم أن دورها الوظيفى فيما يتعلق بتخليق البروتينات يماثل البوليزومات المتصلة بخيط الحمض النووى الحامل للرسالة .

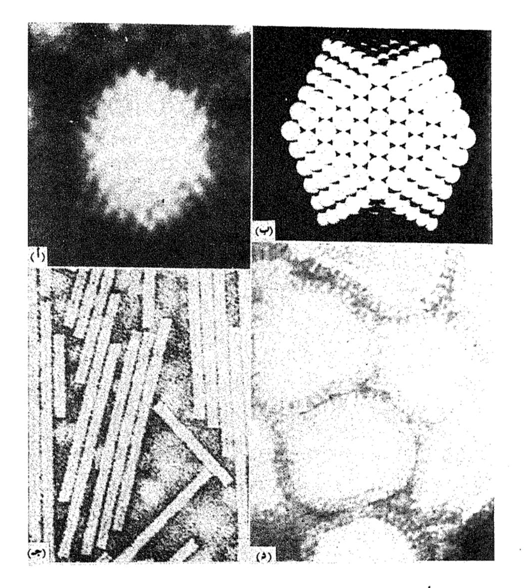
وعموما تتميز خلايا الكائنات الحية الدقيقة البدائية النواة بمعدلاتها المرتفعة فى التكاثر عنه فى حالة الخلايا حقيقية النواة ، وينعكس ذلك بوضوح على عدد وحجم الريبوزومات بالنسبة لوحدة الكتلة من الخلية ، وقد تصل كمية الريبوزومات فى الخلايا سريعة النمو إلى ما يعادل 40% من وزن الخلية الجاف .



(صورة ٢ - ١) احدى القطاعات الرقيقة فى خلية من خلايا Bacillus lichenformis أثناء الانقسام . حيث يبدو دور الميزوزوم فى عملية تكوين الجذر العرضية (بإذن من ب - هيتون) . مكبرة 42 ألف مرة .

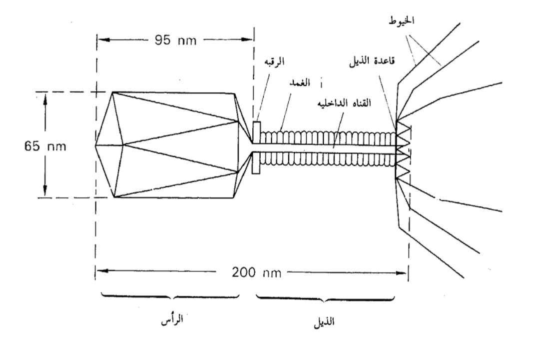


(صورة ٢ - ٢) خلايا الخميرة Saccharomyces cerevisiae كما تظهر تحت الميكروسكوب الالكترونى عند تحضير العينة بطريقة التجميد والطبع الكليشيهى ، يلاحظ وجود النواة فى حالة انقسام مع وجود اتصال فيما بين النواتين المنفصلتين . (باذن من هـ . موور) مكبرة 15 ألف مرة .



(صورة ٢ – ٣) الأنماط المختلفة لتجميع جزئيات الفيروسات . (أ) ، (ب) تجمع على صورة مجسم ذو عشرين وجها مثلثا (أ) الأدينوفيروسات التى تصيب الانسان (مكبرة 560 ألف مرة) ، (ب) نموذج توضيحى لنفس النوع من الفيروسات يوضح تجميع الجزئيات على هيئة مجسم ذو عشرين وجها ، (جـ) التجميع على صورة لولب حلزونى كما فى حالة فيروسات تبرقش الدخان (مكبرة 144 ألف مره) حيث يلاحظ تكسر بعض جزيئات الفيروس العضوية أثناء تحضير العينات ، (د) جزئيات فيروس مغلفة بغلاف خارجى كما فى حالةفيروس الانفلونزا (مكبرة 320 ألف مرة) بإذن من ر . و . هورن .





(صورة ٢ – ٤) (أعلى) فاج بكترية القولون من النوع T2 (مكبر 424 ألف مرة) حيث يلاحظ انضغاط جزىء الفيروس مؤديا إلى تقلص الذيل (أنظر شكل ٦ – ٣) مأخوذة عن S. Breener al (1959). Mol. Biol I, 281 (أسفل رسم توضيحي جزىء فيروس بكتريا القولون من النوع T2 مع عدم حدوث انضغاط لمنطقة الذيل .

الحبيبات المخزنة :

قد يوجد فى سيتوبلازم الخلية ذات النواة البدائية حبيبات مخزنة (والتى قد يطلق عليها أحيانا بالحبيبات المحتوية) ، ويوضح الجدول (٢ – ١) أهم أنواع هذه الحبيبات المخزنة مع ملاحظة أن عدد وحجم هذه الحبيبات يختلف باختلاف ظروف تنمية الخلية ، ولو أنها فى حالة توفر مصادر الطاقة بكميات تفوق الحاجة قد تكون ما يقرب من 50% من وزن الخلية الجاف .

جدول ٢ –١ الحبيبات المخزنة فى خلايا الكائنات الحية بدائية النواة

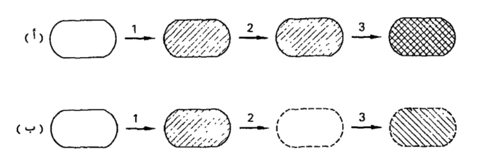
نوع الحبيبات	المكون الأساسى	نفاذيتها للالكترونات	الصبغات المناسبة ونتيجة الصبغ	وظيفتها الممكنة
عديدة السكريات	جليكوجين	شفافة	محلول اليود – لون بنى	مصدر للكربون والطاقة
	نشا	شفافة	محلول اليود – أزرق غامق	مصدر الكربون والطاقة
الليبيدات	عديد بيتا هيدروكسى بيوتيرات	شفاف	السودان الأسود – أسود	مصدر للكربون والطاقة
	دهون متعادلة	شفاف	السودان الأسود – أسود	مصدر للكربون والطاقة
الفوليوتين	عديد الفوسفات	معتمة	صبغة البيرت – بنفسجى	مصدر للفوسفور والطاقة
الكبريت	الكبريت	شفاف	—	مصدر للكبريت والطاقة

وباستثناء مركب عديد بيتا هيدروكسى البيوتيرات تتواجد هذه المواد المخزنة أيضا فى خلايا الكائنات الحية الدقيقة الحقيقية النواة .

جدار الخلية :

وهو عبارة عن الطبقة المعتمة التى تحيط بالغشاء السيتوبلازمى . وقبل أن نعرض لتركيبه ووظيفته فإنه من المفيد أن نستطرد فى الحديث أولا عن واحدة من أهم طرق الصبغ التفريقى المستخدمة فى مجال الميكروبيولوجيا التى تعمل على تقسيم البكتريا إلى مجموعتين أساسيتين ألا وهى صبغة جرام – فلقد كان هناك نقاش كبير حول الأساس البيوكيميائى لطريقة الصبغ هذه والذى قد يعزى غالبا إلى الاختلاف فى مسامية جدار الخلية بالنسبة للمعقد المتكون من صبغة الجنسيان البنفسجى واليود بداخل الخلية (شكل ٢ – ٤) ، وهذا الاختلاف ربما يرتبط بتركيب الجدار ذاته حيث يلاحظ فى

القطاعات الرقيقة للخلايا أن جدار البكتريا الموجبة لجرام يتركب أساسا من طبقة واحدة سميكة غير متبلورة وغير منتظمة (صورة ٢ - ١ ، الموجوده بصفحة ٣٤) فى حين أن البكتريا السالبة لجرام يظهر جدارها على هيئة طبقات متعددة وأكثر تعقيدا . والمركب الكيميائى المكون لجدار الخلايا الموجبة لجرام أساسا هو الببتيدات السكرية (انظر أسفله) . ومثل هذه الطبقة السميكة تحول دون إزالة المعقد المتكون من صبغة الجنسيان البنفسجى واليود باستخدام أى من المذيبات العضوية مثل الكحول أو الأسيتون .. فى حين أنه فى البكتريا السالبة لجرام نجد أن طبقة السكريات الببتيدية لاتتعدى 10% من مكونات جدار الخلية ويتمثل الباقى فى البروتينات ، مركبات عديدة السكريات ، وفى الأهم الليبيدات ، وحيث تؤدى المعاملة بالكحول إلى زيادة مسامية الجدار نتيجة لإزالة الليبيدات مع كون طبقة السكريات الببتيدية رقيقة ، كل هذا ينجم عنه الفروق الواضحة فى نتيجة للصبغ .



شكل ٢ - ٤ ميكانيكية الصبغ بجرام (١) اضافة صبغة الجنسيان البنفسجى ومحلول اليود . يتكون معقد من الجنسيان البنفسجى واليود داخل الخلايا . (٢) أغسل بالكحول أو الأسيتون فبالنسبة للخلايا السالبة لجرام يزول معقد الجنسيان البنفسجى واليود من الخلايا نظرا لاتساع مسام جدار الخلية (٣) أضف الفوكسين القاعدى كصبغة مضادة . فيلاحظ أن الخلايا الموجبة لجرام (أ) تصبغ للمرة الثانية لتأخذ فى النهاية لونا بنفسجيا فى حين أن الخلايا السالبة الجرام لاتأخذ إلا اللون الأحمر لصبغة الفوكسين .

والآن دعنا نعرض لمكونين أساسيين من مكونات الجدار الخلوى :

١ - **السكريات الببتيدية** : (طبقة الميوكوببتيدات ، الميورين .. الخ) ويعتبر هذا المركب من أهم المركبات عديدة البلمرة فى الخلايا ذات النواة البدائية والذى يتكون بطريقة فريدة بواسطة الارتباط المستعرض لسلاسل من عديدات السكر مع سلاسل من عديدات الببتيد القصيرة ليتكون فى النهاية جزىء كبير يلعب دورا هاما فى تحديد شكل

وحجم الخلية ، ومنحها درجة عالية من الصلابة ومن أكثر الصفات الكيميائية أهمية لهذا المركب هو وجود مركبات مميزة وحيدة البلمرة تدخل فى تركيب كل من عديدات السكر (خلات حمض الميوراميك) وعديدات الببتيد (أحماض أمينية يمينية الاستقطاب وأحيانا حمض البيميليك ثنائى الأمين) . وبالإضافة إلى كون هذا التركيب الكيماوى مقاوم لفعل معظم الانزيمات المحللة فإنه يعتبر لحسن الحظ موطن فعل العديد من المواد الكيميائية المضادة لنمو البكتريا ذات الأهمية الطبية الفائقة .

٢ - **عديدات السكر** : توجد العديد من هذه المركبات فى الخلايا ذات النواة البادئية حيث تختلف فيما بينها من حيث السكريات الأحادية المكونة لها ، بالإضافة إلى ان بعضها لاتوجد الا فى مجموعة صغيرة من البكتريا والطريقة التى يتم بها ارتباط هذه السكريات الآحادية . وتوجد مثل هذه المركبات فى الطبقة الخارجية للجدار الخلوى ولهذا تعتبر مسئولة عن كثير من الخصائص المميزة لسطح الخلية .

وظيفة جدار الخلية : لعل الدور الأساسى للجدار هو إحاطة الخلية بطبقة ذات صلابة ميكانيكية . وعلى الرغم من ذلك فهناك بعض الخلايا ذات النوى البدائية بدون جدار للخلية ، ولكنها لا تستطيع العيش إلا فى أوساط بيئية مأمونة . ويجدر الإشارة هنا إلى أن جدار الخلية لا يعتبر طبقة ذات نفاذية اختيارية بل أنه يعمل كغربال بحيث يحجز الجزئيات الكبيرة الحجم ويمنع مرورها . وفى الواقع هناك بعض الانزيمات التى توجد محصورة فيما بين الغشاء السيتوبلازمى وجدار الخلية لتكون ما يسمى بالبيريبلازم .

الكبسولة :

تحاط بعض خلايا الكائنات الحية الدقيقة بدائية النواة بطبقة هلامية تسمى بالكبسولة تغلف الجدار الخلوى للخلية . ويمكن رؤية هذه الطبقة تحت الميكروسكوب العادى باستخدام الصبغ السالب الذى يعتمد على استخدام صبغات مثل الحبر الشينى حيث لا يمكن لجزئياته التغلغل خلال هذه الطبقة ، فى حين أنها تظهر تحت الميكروسكوب الالكترونى كطبقة منكمشة غير محددة . وتتكون هذه المادة الهلامية عادة من عديدات السكر (1- 2%) فى الماء . وكما هو الحال بالنسبة لعديدات السكر المكونة للجدار الخلوى فانها تتكون من مجموعة مختلفة من السكريات الأحادية تتحد بطرق عدة . وفى بعض الأحيان قد تتكون هذه الطبقة من عديدات الببتيد كما هو الحال بالنسبة للبكتريا المسببة لمرض الجمرة الخبيثة حيث تنتج من بلمرة حمض الجلوتاميك .

وقد تلعب الكبسولة دورا فى حماية الخلية ضد كل من الفعل اللاقم والاصابة بالفيروسات ، كما أنها قد تساعد فى الحد من التأثير المدمر لسرعة اكتساب الخلايا أو فقدها للمياه فى العديد من الأوساط البيئية مثل التربة . وفى النهاية عادة ما تكون للكبسولة القدرة على التبادل الكاتيونى مما يساعد على تركيز وامتصاص الكاتيونات الضرورية للخلية .

الأسواط والحركة :

تمتلك معظم البكتريا المتحركة زوائد طويلة ورفيعة تمتد إلى خارج سطح الخلية تسمى بالأسواط حيث تتصل من أحد أطرافها — بعد نفاذها من جدار الخلية والغشاء السيتوبلازمى — بتركيب خطافى الشكل وجسم قاعدى . ولا يمكن رؤية كل سوط على حدة تحت الميكروسكوب العادى إلا بعد زيادة سمكه وذلك بتغليفه بمواد وصبغات مترسبه ، فى حين تشاهد هذه الأسواط بالميكروسكوب الالكترونى عند صبغها بطريقة الصبغ السالب باستخدام حمض الفوسفوتنجستيك حيث وجد أنها تتكون من وحدات تركيبية متماثلة مرتبة ترتيبا حلزونيا على طول محور السوط لتعطى فى النهاية تركيبا مجوفا من الداخل . ومن الممكن فصل هذه الوحدات التركيبية فى أوساط حامضية حيث يتبين أنها مكونة من جزئيات بروتينية تسمى فلاجلين ، وعند معادلة حموضة الوسط المحيط تتجمع هذه الجزئيات البروتينية مكونة الأسواط مرة ثانية ، ومن المعتقد أن مثل هذه الطريقة تتم أثناء عملية نمو الأسواط . ويختلف أعداد وتوزيع الأسواط الموجودة على سطح الخلية ولذلك فإنها تستخدم كصفه من الصفات التى تستخدم فى التعرف على أنواع البكتريا المختلفة وتقسيمها .

ووظيفة الأسواط هى الحركة حيث وجد أن كل الخلايا ذات الأسواط تكون متحركة فى الطبيعية ، ومع هذا فهناك أنواع حركة أخرى لكنها أقل شيوعا فى الكائنات الحية البدائية النواة مثل :

(أ) الحركة الانزلاقية والتى تستلزم اتصال الخلية مباشرة مع سطح ما ، هذا بالإضافة إلى احتمال وجود بعض التراكيب القادرة على التقلص فى طبقات الخلية الخارجية .

(ب) الحركة الملتوية : تحتوى بكتريا سبيروكيتات والتى تتميز بشكلها الحلزونى على شعيرة محورية تتكون من بروتينات الفلاجلين وذلك بداخل جدار الخلية . وتحدث الحركة نتيجة لتبادل عمليتى الانقباض والانبساط لمثل هذه الشعيرة .

ويمثل هذان النوعان من الحركة أكثر أنواع الحركة بدائية فى الكائنات الحية الدقيقة . ولعل انفصال مثل هذه الشعيرة من الجدار مع ارتباطها من طرف واحد بالخلية هو الذى أدى إلى حدوث تطور أعضاء الحركة بتكوين الأسواط .

الزوائد :

قد تحيط بخلايا الكائنات الحية الدقيقة البدائية النواة زوائد أخرى توجد على السطح ، وتتكون هذه الزوائد من وحدات تركيبية عبارة عن جزيئات بروتين منتظمة فى شكل حلزونى لتكون خيطا فى النهاية إلا أنها تختلف عن الأسواط من عدة نواحى :

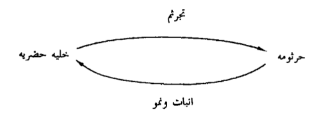
(أ) لا تأخذ هذه الزوائد شكلا متموجا كما هو الحال بالنسبة للأسواط كما أنها أقصر طولا .

(ب) تعتبر هذه الزوائد أصغر قطرا (حوالى 10 nm) .

(جـ) لا تعتبر أعضاءا للحركة . وتوجد بعض الزوائد التى تسمى بالزوائد الجنسية على أسطح الخلايا المذكرة حيث تستخدم كمعبر لمرور الحمض النووى DNA أثناء عملية التزاوج الوراثى (صفحة 136) . أما وظيفة الزوائد الأخرى فغير مفهومه حتى الآن ولو أنه من المحتمل أن تكون أساسا عبارة عن أعضاء التصاق .

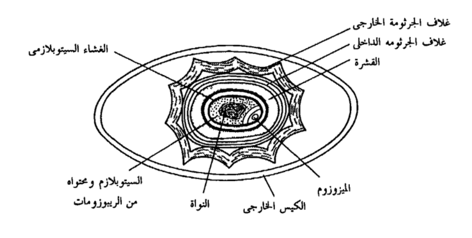
الجراثيم :

كما سبق الذكر تكون بعض خلايا الكائنات الحية الدقيقة البدائية النواة ـــ خاصة التى تعيش منها فى التربة – تركيبات معينة يطلق عليها الجراثيم . حيث تتكون جرثومة داخلية واحدة بداخل كل خلية خضرية ، وفى عملية الإنبات تنتج خلية خضرية واحدة من كل جرثومة . وتلاقى عملية التجرثم اهتماما كبيرا فى الوقت الحاضر نظرا لأنها تعتبر كنموذج مبسط لحدوث عملية التميز الوظيفى من خلية لأخرى . ويمكن أن تتخذ أساساً لتفسير بعض العمليات الأكثر تعقيداً والتى تتم فى النباتات والحيوانات .



وتظهر الجراثيم الداخلية تحت الميكروسكوب على صورة أجسام لامعة وأحيانا ما تكون أكبر فى قطرها عن قطر الخلية الناتجة عنها فى حين تلاحظ تراكيب أكثر تعقيداً عند فحص قطاعات رقيقة من الجراثيم تحت الميكروسكوب الالكترونى (شكل ٢ – ٥) . فبداخل الكيس الجرثومى الذى يختلف فى تركيبه من نوع لآخر يوجد غلاف الجرثومة الذى يتكون من طبقات عدة على هيئة صفائح بروتينية ، وبالداخل توجد طبقة القشرة السميكة والتى تحتوى على السكريات الببتيدية . وفى المركز يوجد البروتوبلاست الذى يحوى أهم المركبات المميزة للجرثومة والذى يتمثل فى معقد من الكالسيوم وثنائى حمض البيكولينيك ويعتقد أن له دور فى المقاومة لدرجات الحرارة المرتفعة . وعلى الرغم من أن الجرثومة الداخلية تعتبر من الأطوار الساكنة النموذجية فى الكائنات الحية الدقيقة البدائية النواة إلا أنه يوجد نوعين آخرين من هذه الأطوار .

١ – **الحوصلة** : والتى تعتبر من حيث التركيب والمقاومة للظروف البيئية وسطا فيما بين الجراثيم الداخلية والخلايا الخضرية . ومن أشهر الأمثلة فى هذا الخصوص حوصلات الطحالب الخضراء المزرقة المبينة فى الصورة (٩ – ١ الموجودة بصفحة ١٧٤) .

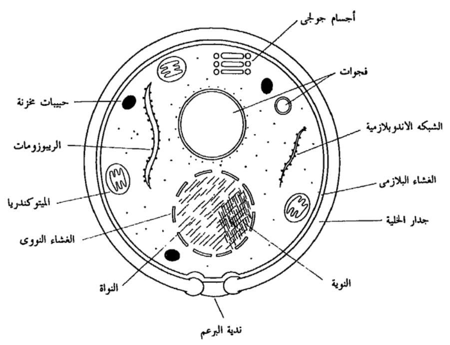


(شكل ٢ – ٥) التركيب الداخلى لجرثومة داخلية نموذجية

٢ - **الكونيديات** (الجراثيم الخارجية) . وتنتج هذه الأطوار الساكنة عن تكسر أطراف الهيفات الهوائية عديدة الأنوية والخاصة بمجموعة الاكتينوميسيتات (صفحة 65) . ونظرا للتشابه بين كل من الاكتينوميسيتات والفطريات فى تركيب الميسيليوم وعملية تكوين الكونيديات ، فان الاكتينوميسيتات عادة ما تقسم على أنها من الفطريات وذلك على الرغم مما هو معروف الآن بتكونها من خلايا بدائية النواة ولو أنها قد تكون متعددة النواة وتأخذ شكلا خيطيا متفرعا .

خلايا الكائنات الحية الدقيقة حقيقية (مميزة) النواة :

تعتبر هذه الخلايا عامة أكثر تعقيدا من خلايا الكائنات الحية الدقيقة البدائية النواة وتكبرها فى القطر بما يعادل عشر مرات تقريبا . (حوالى 10 μm) كما أنها تظهر درجة كبيرة من الاختلاف فى الحجم والشكل . ومع هذا فلا يتوفر لدينا المعلومات الكافية عن المكونات المختلفة لهذه الخلايا بالمقارنة بخلايا الكائنات الحية الدقيقة البدائية النواة . ومن الصعب تحديد التركيب النموذجى للخلايا حقيقية النواة ويعد الاسترسال فى ذلك مضللا . ويجب أن تؤخذ خلية الخميرة المبينة فى الشكل (٢ - ٦) واللوحة (٢ - ٢ الموجوده فى صفحة ٣٥) فقط على أنها مثال لأحد أنواع هذه الخلايا . ونظرا لأن معظم



(شكل ٢ - ٦) رسم يبين احدى خلايا الخميرة

الطلاب لديهم فكرة عن تركيب بعض الخلايا حقيقية النواة أثناء دراستهم لعلوم النبات والحيوان فإننا سوف نعرض بالتفصيل لبعض مكونات هذه الخلية فقط مع التركيز بوجه الخصوص على التركيبات التى تساعد فى التمييز أساسا بين هذا النوع من الخلايا من جهة والخلايا ذات النوى البدائية من جهة أخرى .

التركيبات الغشائية :

توجد مجموعة من التراكيب الغشائية ذات النفاذية الاختيارية فى الخلايا حقيقية النواة تعمل على جعل الخلية كوحدة كاملة تحتوى على غرف كثيرة ومستقلة .

١ ــ الغشاء البلازمى

يشابه هذا الغشاء من ناحية التركيب الفيزيائى والكيميائى الغشاء السيتوبلازمى فى الخلايا ذات النوى البدائية إلا أن هناك اختلاف واضح يتمثل فى وجود الأستيرولات فى أغشية الخلايا حقيقية النواة . هذا بالإضافة إلى أن الغشاء البلازمى لهذه الخلايا يقوم فقط ببعض وظائف الغشاء السيتوبلازمى بالخلايا بدائية النواة خاصة فيما يتعلق بخاصية النفاذية الاختيارية . كما أنه له وظيفة أخرى لاتوجد فى الخلايا بدائية النواة وهى القدرة على تناول الغذاء بطرق خاصة وهى الابتلاع فى صورته الصلبة أو الارتشاف فى صورته السائلة ، وفى كلا الحالتين تتكون فجوات غذائية محاطة بغشاء فى السيتوبلازم (شكل ٢ ــ ٧) . وتوجد بالسيتوبلازم أيضا فجوات مماثلة محاطة بغشاء تسمى الليسوزومات تحوى العديد من الأنزيمات المحللة .

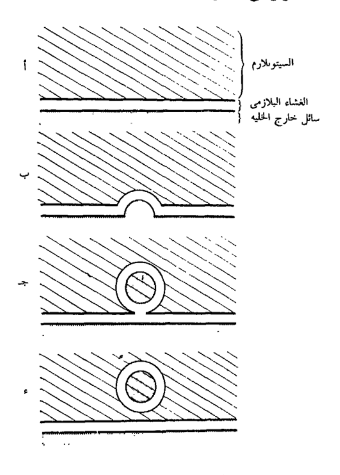
٢ - الفجوات

تكلمنا فيما سبق عن الفجوات المتخصصة فى عمليات هضم الغذاء . وقد تلعب هذه الفجوات أيضا دورا فى تراكم وتخزين النواتج الوسطية لعمليات التمثيل الغذائى ، فى حين أن الفجوات المنقبضة والتى قد توجد فى بعض الخلايا المميزة النواة تقوم بعمليات التنظيم الأسموزى والتخلص من مخلفات الخلية . وعلى العكس من ذلك فإن الفجوات الوحيدة والتى توجد فيما ندر بالخلايا البدائية النواة هى الفجوات الغازية التى تستخدم فى طفو الخلايا كما هو الحال بالنسبة للطحالب الخضراء المزرقة .

٣ - الميتوكندريا والبلاستيدات الخضراء

بدلا من أن تتركز تفاعلات الحصول على الطاقة فى الغشاء السيتوبلازمى بالخلية البدائية النواة فإن الخلايا حقيقية النواة تحتوى على أجسام داخل الخلية يحاط كل منها بغشاء وتحدث بها عملية الفسفرة للحصول على الطاقة .

تعتبر الميتوكندريا مسؤولة عن الفسفرة التأكسدية (الهوائية) كما أنها تأخذ حجما وتركيبا يماثل الخلية البدائية النواة ، حيث يغلفها غشاء سيتوبلازمى . وفى الحقيقة هناك بعض علماء البيولوجى الذين يعتقدون بأن الميتوكندريا قد نشأت نتيجة لتطور



(شكل ٢ - ٧) رسم تخطيطى يوضح عمليتى ابتلاع وارتشاف المواد الغذائية فى الخلية حقيقيه النواة . حيث يبتلع جزء من السائل خارج الخلية بما قد يحتويه من مواد صلبة بواسطة الغشاء البلازمى وليتكون فى النهاية فجوة فى السيتوبلازم .

وتخصص خلية بدائية النواة تعيش معيشة متطفلة (أو تكافلية) بداخل الخلية حقيقية النواة . ومما يؤيد هذه الفكرة الحقيقة المعروفة عن قدرة الميتوكندريا على التضاعف الذاتى فى الخلية ، كما أنها تحتوى بداخلها على كمية معينة من الحمض النووى DNA وريبوزومات تماثل ريبوزومات الخلية بدائية النواة بدرجة أكبر من حقيقية النواة هذا بالإضافة إلى أنه يوجد الآن العديد من الخلايا حقيقة النواة التى تحتوى بداخلها على خلايا بدائية النواة فقدت قدرتها على المعيشة خارج خلية العائل . فعلى سبيل المثال يحتوى البرامسيوم على جسيمات مماثلة للبكتريا والتى يستحيل تنميتها خارج خلية البرامسيوم ولكن تنقل فقط من خلية برامسيوم لأخرى بواسطة عملية التزاوج الوراثى . وسوف نناقش فى الفصل السابع مدى تطبيق فكرة نشوء وتطور الميتوكندريا على غيرها من النظم الأكثر شمولا والمتعلقة بمنشأ المجاميع الميكروبية المختلفة .

تعتبر البلاستيدات من التراكيب الغشائية المتخصصة فى عملية التمثيل الغذائى والتى تشابه الميتوكندريا فى احتوائها على مكوناتها الخاصة من الحمض النووى DNA والريبوزومات . وتختلف هذه البلاستيدات اختلافا كبيرا فى شكلها وحجمها فيما بين المجاميع المختلفة للطحالب ، كما يعتقد أنها قد نشأت من خلية بدائية النواة تتمتع بالقدرة على التمثيل الضوئى تعيش معيشة متطفلة أو تعاونية بداخل الخلية حقيقية النواة .

٤ ــ الغشاء النووى :

تحاط النواة الحقيقية بغشاء يحتوى على ثقوب تسمح بمرور الجزيئات الكبيرة الحجم مثل الحمض النووى DNA الحامل للرسالة .

٥ ــ الشبكة الاندوبلازمية وأجسام جولجى :

على الرغم من أن هذه التراكيب الغشائية منتشرة بدرجة مكثفة فى السيتوبلازم إلا أنها لم تحظ إلا بقدر قليل من الدراسة . وتعتبر الشبكة الاندوبلازمية مكان التصاق الريبوزومات كما أنها قد تلعب دوراً فى عملية الاتصال أو فى نظام الارتباط بين مكونات الخلية . أما دور أجسام جولجى فغير مفهوم بالدرجة الكافية ولو أنها فى بعض الطحالب قد تساهم فى عملية تخليق جدار الخلية .

السيتوبلازم :

تعتبر حركة السيتوبلازم شائعة فى الخلايا حقيقية النواة فى حين أنها نادرة أو لا توجد فى الخلايا بدائيـة النواة والتـى قد يكون صغر حجمها عائقا لملاحظة مثل هذه الظاهرة .

على الرغم من أن ريبوزومات الخلايا حقيقية النواة تقوم بنفس الوظائف التى تقوم بها فى الخلايا البدائية إلا أنها تتميز بثابت ترسبب أكبر (80 S) وتتكون من وحدتين تركيبيتين 40 S, 60 S ومع ذلك فانه كما سبق الذكر نجد أن الريبوزومات الموجودة فى الميتوكندريا والبلاستيدات الخضراء تتماثل فى التركيب مع ريبوزومات الخلايا بدائية النواة .

النواة

تعتبر نواة الخلية حقيقية النواة تركيبا مستقلا وأكثر تحديدا فى تركيبها ، كما أنها محاطة بغشاء وتحتوى على العديد من الكروموزومات وهى كبيرة الحجم وبالتالى تشتمل على كمية أكبر من الحمض النووى DNA على الرغم من أن السبب وراء زيادة هذا المحتوى النووى غير مفهوم حتى الآن . ويتكون كل كروموزوم على حدة من جزىء مستقيم من الحمض النووى DNA بالمقارنة بالحمض النووى الدائرى الموجود فى الخلايا بدائية النواة . ويصاحب النواة جسم يحتوى على الحمض النووى RNA يسمى بالنوية . والتى يبدو أنها تركيب متخصص فى عملية تخليق الحمض النووى RNA المكون للريبوزومات ، علما بأن مثل هذه الوظيفة يقوم بها أيضا الكروموزوم الوحيد الموجود فى الخلايا البدائية النواة . وتتميز كروموزومات الخلية حقيقية النواة بوجودها على هيئة أشكال مختلفة منضغطة ومنبسطة بالإضافة إلى أنها تحتوى على البروتينات المسماه بالهستونات . ونجد أن تخليق الحمض النووى DNA بالخلية البدائية بالنواة يتم طوال دورة انقسام الخلية ، أما فى الخلايا الحقيقية النواة فإنه يحدث عادة خلال فترة تعادل ثلث دورة الانقسام . ويعقب تضاعف الحمض النووى DNA فى الخلايا حقيقية النواة حدوث عملية الانقسام الميتوزى التى تعتبر مسئولة عن التوزيع المنضبط للكروموزومات إلى مجموعة كاملة منها تذهب لكل خلية حديثة متكونة .

الحبيبات المخزنة :

وقد تم الحديث عنها فيما سبق (انظر صفحة ٣٨) .

جدار الخلية :

تختلف جدر الخلايا حقيقية النواة اختلافا كبيرا فى الشكل والسمك والتركيب الكيميائى . حيث نجد أن معظم أنواع البروتوزوا غير محاطة بجدار إطلاقا وذلك على الرغم من أنها قد تتميز بازدياد صلابة الغشاء البلازمى إلى حد ما حتى يعطى الخلية شكلا محددا ودرجة ما من الصلابة . وعند وجود جدر للخلايا فإنه من الممكن فصلها ثم عزلها بطريقة مماثلة لما سبق ذكره بالنسبة للخلايا البدائية النواة (صفحة ٢٦) حيث تبين أنها تكون أبسط فى تركيبها عن جدر الخلايا البدائية النواة .

١ - **الطحالب** : تتركب جدر خلايا الطحالب أساساً من لويفات تتكون بتناسج جزيئات طويلة من السليولوز . وقد يوجد بها مركبات عديدات السكر أخرى مكونة من سكر واحد مثل عديد المانوز (وتسمى المانان) أو عديد الزيلوز (الزيلان) وعديد حمض اليورونيك (البكتين) بينما توجد فى الأنواع الأخرى من الطحالب جدر مكونه من مركبات السليكا أو كربونات الكالسيوم التى تأخذ أشكالا جميلة وأخاذة .

٢ - **الفطريات** : تعتبر عديدات الجلوكوز من المواد عديدة البلمرة الشائعة فى جدر الفطريات إلا أنها ترتبط برابطة I. β.3 بالمقارنة بالرابطة I. β.4 فى حالة السليولوز . وتكتسب هذه الجدر صلابة ميكانيكية نتيجة للروابط العرضية من النوع I. β.6 لتعطى فى النهاية تركيبا سميكا وصلبا مماثلا لطبقة السكريات الببتيدية الموجودة فى جدر الخلايا البدائية النواه . وتتواجد أيضا مركبات عديدة المانوز بصورة شائعة فى جدر الفطريات بالإضافة إلى مركبات عديدة اسيتيل جلوكوز أمين المشابهة للشيتين الموجود فى الفقاريات .

٣ - **البروتوزوا** : لاتحتوى البروتوزوا عادة على جدر محددة على الرغم من أنه يوجد فى بعضها تركيبات تتكون من السليولوز وكربونات الكالسيوم والسليكا وكبريتات الاسترانشيوم .

الأسواط والأهداب والحركة :

تتحرك الخلايا حقيقية النواة عادة بواسطة أسواط أو أهداب والتى تختلف فى تركيبها عن أسواط الخلايا بدائية النواة . فأسواط الخلايا حقيقية النواة تتميز بكونها أكثر سمكا ومحاطة بغلاف يحتوى بداخله على العديد من اللويفات وحيث تتماثل كل لويفة منها فى التركيب مع سوط الخلية بدائية النواة . ومن أنواع الحركة الأخرى فى الخلايا حقيقية النواة الحركة الأميبية التى تنشأ عن تدفق السيتوبلازم بداخل الخلايا التى لايحيط بها جدار للخلية . وعموما تتجه حركة الخلايا حقيقية النواة صوب أو بعيدا عن الحرارة والضوء أو المواد الكيميائية المؤثرة ولو أن هذه الظواهر تعد أقل شيوعا عنه فى حالة الخلايا بدائية النواة .

قطاع عرضى فى سوط الخلية حقيقية النواة

مقارنة بين الخلايا بدائية النواة والخلايا حقيقية النواة :

أظهرت الدراسات المختلفة التى أجريت على تركيب خلايا الكائنات الحية الدقيقة والتى تم مناقشتها فى هذا الفصل أن هناك العديد من الاختلافات فيما بين الخلايا حقيقية النواة والخلايا بدائية النواة وذلك من عدة نواح يمكن تلخيصها كما يلى فى جدول (٢ - ٢) .

تركيب الفيروسات :

لم يبق الآن إلا مناقشة مجموعة من الكائنات الحية التى تتميز ببساطة تركيبها عن كل من الخلايا بدائية وحقيقية النواة معا . وعادة ما تعتبر أنها كائنات غير خلوية أو عديمة النواة .

جدول ٢ – ٢ مقارنة بين الصفات المميزة لكل من الخلايا بدائية النواة والخلايا حقيقية النواة

	الخلايا بدائية النواة	الخلايا حقيقية النواة
قطر الخلية المثالى	1 μm	10 μm
عدد الكروموزومات	واحد	أكثر من واحد
الغشاء النووى	غير موجود	موجود
الانقسام الميتوزى	غير موجود	موجود
عدد الغرف الداخلية بالخلية	عادة واحدة	اكثر من واحدة
موقع الفسفرة التأكسدية	الغشاء السيتوبلازمى	الميتوكندريا
موقع فسفرة التمثيل الضوئى	الغشاء السيتوبلازمى	البلاستيدات الخضراء
الفجوات	نادرة	شائعة
حجم ريبوزومات السيتوبلازم	70 S	80 S
طبقة الببتيدوجليكان	عادة موجودة	غير موجودة
الأسواط	مكونه من لويفة واحدة	مكونة من عدة لويفات محاطة بغشاء
التكاثر الجنسى	نادر وغير كامل	شائع وبصورة كاملة

وتعد الفيروسات متناهية الصغر لدرجة أنه يصعب رؤيتها تحت الميكروسكوب العادى ، وإلى أن اكتشف الميكروسكوب الالكترونى فقد اقتصر التعرف على وجودها على مقدرة معلق منها على إحداث المرض حتى بعد ترشيحه خلال مرشحات ذات ثقوب صغيرة للغاية (قطرها يعادل 0.2 μm) تعمل على إزالة الكائنات الخلوية الأخرى . وعلى هذا فقد كان اصطلاح فيروس هو المرادف للكائنات المعدية ذات المقدرة على المرور من المرشحات البكتيرية . ولقد تبين أن الفيروسات تهاجم مجموعة كبيرة من الكائنات الحية تابعة للميكروبات والمملكتين الحيوانية والنباتية .

ويقاس نمو هذه الفيروسات بزيادة مقدرتها على إحداث العدوى وقد ثبت فيما بعد أنه يحدث فقط بداخل خلية العائل . ولقد استخدمت طرق عدة لتنقية جزيئات الفيروس حيث تمكن العالم ستانلى فى عام 1935 من الحصول على فيروس تبرقش الدخان وذلك على هيئة بللورات . ويعد ذلك قفزة هائلة حيث أظهرت أن معظم خصائص الفيروسات تتماثل مع خصائص الجزيئات المبلمرة ذات الوزن الجزيئى الكبير والتى تم دراستها بواسطة علماء الكيمياء الحيوية . وعلى هذا فمن الممكن استخدام طرق شبيهة للطرق المستخدمة فى دراسات الكيمياء الحيوية من أجل تنقية الفيروسات ودراستها . وباكتشاف الميكروسكوب الالكترونى أصبح من الممكن دراسة الخصائص المورفولوجية للفيروسات ثم مقارنة ذلك بنتائج الدراسات الكيميائية التى أجريت على التحضيرات النقية من الفيروسات .

وجرت العادة على تسمية الفيروسات باسم العائل الذى تصيبه أو تبعا لأعراض المرض الذى تسببه . فعلى سبيل المثال نجد أن الفيروسات التى تصيب نباتات الدخان وتحدث بأوراقها بقع نتيجة لإزالة صبغة الكلوروفيل تسمى بفيروس تبرقش الدخان . أما الفيروس المعزول من الغدة النكفية للإنسان فيسمى فيروس الغدة النكفية ، أما الفيروس الذى يصيب بكتريا Escherichia coli فيسمى بكتريوفاج E Coli أو فاج بكتريا القولون للاختصار . والسلالات المختلفة من الفاجات قد تعطى حروفا وأرقاما كما هو الحال بالنسبة لفاجات بكتريا القولون التى توضع فى سلسلة تحمل الحرف T (صفحة 117) والتى استخدمت على نطاق كبير فى التجارب الأساسية لعلم البيولوجيا الجزئية . والسبب من وراء نظام التقسيم هذا أن استخدام الصفات المورفولوجية فى هذا الصدد يعتبر غير ذى فائدة . ففى الحقيقة نجد أن العديد من الفيروسات التى تصيب عوائل مختلفة قد يصعب التمييز بينها مورفولوجيا كما هو الحال بالنسبة لفيروس شلل الأطفال وفيروس التبرقش الأصفر فى اللفت . وهناك محاولات حديثة لتطبيق نظام التسمية الثنائية على الفيروسات ولكن للأسف لم يحظ ذلك بالقبول .

حجم وأشكال الفيروسات :

نتيجة لاستخدام الميكروسكوب الالكترونى فى مشاهدة الفيروسات أمكن التعرف على ثلاث خصائص عامة الفيروسات .

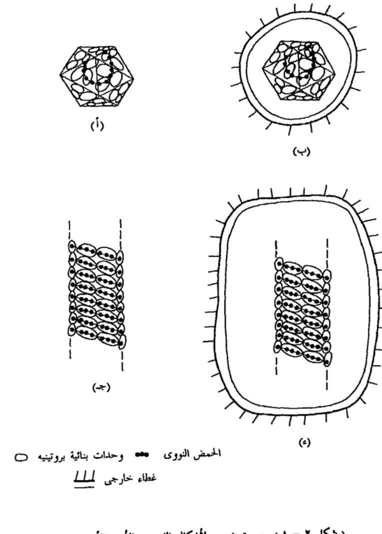
١ – تختلف جزيئات الفيروس فى أشكالها وأحجامها اختلافا كبيرا حيث أنها تتراوح فيما بين فاج بكتريا القولون F 2 أم T الذى يتميز بكونه مستدير الشكل ويصل قطره إلى ما يعادل 20 nm وبين الفاجات المعقدة التركيب والتى لها ذيل وحتى فيروس الفاكسينيا الذى يظهر فى شكله مثل الطوبة وبأبعاد 250- 300 nm .

٢ -- تتماثل جزيئات الفيروس الواحد تماثلا تاما فى الحجم والشكل . ولم تظهر أهمية هذا الاكتشاف إلا مؤخرا بواسطة علماء الفيرولوجى حيث أدى ذلك إلى استنتاج هام وهو أن الفيروسات لا تنمو وتتكاثر بالمعنى المفهوم ولكن يتم نسخ جزيئاتها أى تتكون من جديد (de novo) .

٣ – أدى استخدام طريقة الصبغ السالب للفحص بالميكروسكوب الالكترونى إلى التعرف عموما على تركيب الفيروسات والذى يتكون من الحمض النووى كجزء مركزى محاط بغلاف بروتينى (يسمى بالكابسيد) والذى يتكون أصلا من وحدات بنائية (يطلق عليها الكابسومير) . وهذا التركيب الثابت (والذى يسمى أحيانا بالكابسيد النووى) قد يحاط بغطاء خارجى . وبناء على طريقة تجميع الوحدات البنائية فإنه من الممكن تمييز أربعة أنواع رئيسية من الفيروسات موضحة فى شكل (٢ – ٨) بالإضافة إلى وجود بعض التركيبات الأكثر تعقيدا .

(أ) **فيروسات عارية ذات عشرين وجه** . أظهرت الدراسات المتأنية للفيروسات الكروية أنها تأخذ شكلا مميزا عبارة عن مجسم ذو عشرين وجها بمعنى أن كل جزىء مكون من عشرين وجها مثلث الشكل وله اثنى عشر قمة . ويتحدد هذا الشكل بناء على الوحدات البنائية البروتينية التى يتم ترتيبها طبقا لقواعد هندسية وبلورية . وأكثر هذه الأشكال بساطة من الناحية النظرية هو ما يحتوى على 20 وحدة بنائية تكون 12 قمة كما هو فى حالة فاج بكتريا القولون من النوع ΦX 164 . ويلى ذلك الشكل الذى يتكون من 32 وحدة بنائية منها 12 للقمة فى حين أن العشرين الأخرى تمثل وحدات الوجه ذاته . والرقم التالى هو 72 منها 12 للقمة وثلاث وحدات مكونة لكل وجه بمعنى (20 x 3) + 12 وهكذا حتى تصل إلى أكبر عدد ممكن من هذه الوحدات البنائية والذى تم التعرف عليه بالنسبة لأحد فيروسات الحشرات المعروف بفيروس التيبولا المتعدد الألوان والذى يحتوى على 812 وحدة بنائية (بمعنى (20 X 40) + 12 . ومن المدهش حقا ما يلاحظ من اتباع نفس القواعد فى بناء القباب الجيوديّسيه حيث

يمكن بناء تصميم غاية فى القوة والصلابة من وحدات بنائية خفيفة سهلة التجميع ويتركز الحمض النووى لهذه الفيروسات بداخل الكابسيد وذلك على صورة مكثفة وتوضح اللوحة (٢ ــ ٣ أ ، ب) أمثلة من هذا النوع من الفيروسات .



(شكل ٢ – ٨) رسم توضيحى لأشكال الفيروس الأربع الأساسية
(أ) فيروس عارى ذو عشرين وجه
(ب) فيروس مغطى ذو عشرين وجه
(جـ) فيروس حلزونى معرى
(د) فيروس حلزونى محاط بغطاء خارجى

(ب) **فيروسات حلزونية معراه :** فى حالة الفيروسات الحلزونية نجد أن الوحدات البنائية ترتب حلزونيا بحيث نجد أن كابسيد الفيروس تكون مفرغة من الداخل ويلاحظ التماثل التام بين الوحدات البنائية للغلاف البروتينى كما أن الحمض النووى يتمركز فى الأخدود الداخلى لجزىء الفيروس الأسطوانى كما هو مبين فى اللوحة (٢ – ٣ جـ) .

(جـ) **فيروسات محاطة بغطاء خارجى :** نجد أن الفيروسات الحلزونية أو ذات العشرين وجه قد تحاط فى بعض الأحيان بغطاء خارجى مكون من أغشية فضفاضه . وتصيب معظم هذه الفيروسات الحيوانات . ويبدو أن مصدر الغطاء الخارجى ولو جزئيا هو أغشية العائل البلازمية . وتوضح اللوحة (٢ – ٣ د) أحد أمثلة هذه الفيروسات .

(د) **فيروسات معقدة التركيب :** تتميز القليل من الفيروسات بدرجة عالية من التعقيد فى تركيبها عنه بالنسبة للفيروسات التى سبق ذكرها . ولعل من أهم الأمثلة فى هذا المجال البكتريوفاجات خاصة فاجات بكتريا القولون (صفحة ٥٢ ولوحة ٢ – ٤ الموجودة بصفحة ٣٧) . فبينما نجد أن رأس الفاج عبارة عن جسم ذو عشرين وجه يحتوى على الحمض النووى للفيروس فاننا نجد هناك ذيلا بالغا فى التعقيد يتصل بهذا الرأس حيث يحتوى على الاقل على خمسة أنواع من البروتينات مكونة لكل من الغمد والقناة الداخلية والرقبة وقاعدة الذيل والخيوط . ومع ذلك فإن كل هذه التركيبات تتكون بعملية التكثيف للوحدات البنائية بطريقة تماثل عملية التبلور . وسوف نناقش أهمية ذلك عند الحديث عن تضاعف الفيروسات وتكاثرها فى الفصل السابع .

التركيب الكيميائى للفيروسات :

تتكون الفيروسات كيميائيا من مركبين أساسيين هما البروتين والحمض النووى . وفى معظم الفيروسات لايتواجد إلا هذين المركبين فقط كما سنناقش ذلك فى الفصل السابع . ويعتبر الحمض النووى هو المسئول عن تضاعف الفيروس ، فى حين أن البروتين يختص بعملية انتقال الحمض النووى من خلية لأخرى .

١ – البروتين :

تتكون بروتينات الفيروس من نفس الأحماض الأمينية التى تتكون منها خلايا الكائنات الحية المختلفة . ومعظم هذه البروتينات إن لم يكن جميعها تعمل على تكوين

الوحدات البنائية الصغيرة التى تتحد بدورها لتكوين وحدات بنائية أكبر التى تكون فى النهاية الكابسيد التى تعتبر كغلاف واق يحيط بالحمض النووى . وأحيانا تتواجد بعض الأنزيمات كجزء من مكونات الفيروس ولكن دورها الوحيد هو تسهيل اختراق الحمض النووى إلى داخل خلية العائل . ومثال ذلك انزيمات الليزوزيم الموجودة فى ذيل البكتريوفاج (صفحة 120) .

٢ – الحمض النووى :

يتواجد أىٌّ من الحمض النووى DNA أو RNA فى جزىء الفيروس الواحد . وتعتبر هذه احدى الصفات المميزة للفيروسات عن الكائنات الخلوية الأخرى التى عادة ما تحتوى على كل من الحمضين النوويين RNA, DNA . وبرغم أن الحمض النووى DNA يوجد عادة على هيئة ضفيرة مزدوجة والحمض النووى RNA على هيئة خيط مفرد فانه فى حالات قليلة تحتوى بعض الفيروسات على خيط واحد من الحمض النووى DNA أو ضفيرة مزدوجة من الحمض النووى RNA . وعلى أية حال فان الحمض النووى يتواجد على هيئة خيط واحد (كروموزوم) قد يأخذ شكلا دائريا ويحتوى على عدد من النيوكليتيدات تتراوح بين بضعة آلاف إلى 250,000 . وعلى هذا نجد أن محتوى الفيروسات من الحمض النووى تتراوح فيما بين 1% كما فى حالة فيروس الانفلونزا وحتى 50% كما فى حالة بعض البكتريوفاجات .

٣ – مكونات الفيروس الأخرى :

تعتبر الليبيدات من أهم المكونات الإضافية التى توجد بجزىء الفيروس حيث تدخل فى تكوين الغلاف الخارجى لبعض الفيروسات الحيوانية ، حيث تكون ما يعادل 5-50% من محتوى الفيروس . وقد توجد أيضا السكريات العديدة فى غلاف الفيروس الخارجى ولكنها بالإضافة إلى الليبيدات قد تمثل مركبات الفيروس التى يكتسبها من خلية العائل عند خروج جزيئاته من خلال الغشاء البلازمى . بل أنه من الصعب الآن التأكد مما إذا كان بعض مكونات الفيروس ذات الوزن الجزيئى المنخفض تعتبر من المكونات الحقيقية أم أنها ببساطة مأخوذة من خلية العائل ومع ذلك فهناك عديدات الأمينات مثل الأسبرمين والاسبرميدين والتى توجد بكميات ملموسة وغالبا ما تعمل على معادلة المجموعات الحامضية بالحمض النووى وذلك لتسهيل عملية إحكام تعبئته وتكثيفه بداخل

كابسيد الفيروس . ويرتبط بذيل الفاج جزئيات من ATP(الأدينوسين ثلاثى الفوسفات) وأيونات الكالسيوم والتى يعتقد أنها تلعب دورا فى عملية انضغاط الذيل أثناء الدخول فى خلية العائل .

التمييز فيما بين الفيروسات وكل من الخلايا البدائية والحقيقية النواة .

لعله يبدو واضحا مما ذكر سابقا أن الفيروسات تختلف اختلافا ظاهرا عن كلا النوعين من الخلايا وذلك من ناحية التركيب والمكونات الكيميائية . ومن الأيسر معرفة كل هذه الاختلافات عند مناقشة تضاعف الفيروسات وتكاثرها فى الفصل السابع . ولكن نجد أن بساطة وتماثل التركيب ، تواجد إحدى صور الأحماض النووية بالإضافة إلى عدم احتواء الفيروس على أنزيمات للتمثيل الغذائى يؤكد اعتبار الفيروسات كمجموعة مستقلة بذاتها . وعلى العكس مما كان معتقد سابقا فإنه لايبدو أن هناك أشكال وسطية تقع بين الفيروسات والكائنات الخلوية الأخرى ولكن قد تكون الفيروسات نشأت نتيجة للتضاؤل والتبسيط فى تركيب خلايا متطفلة ، وسوف نناقش ذلك مؤخرا .

الفصل الثالث

حصر الكائنات الحية الدقيقة

قبل أن نتعرض للمجال الواسع من الكائنات الدقيقة التى توجد فى الطبيعة لابد لنا من قول كلمة عامة عن نظام التسمية والتعريف والتقسيم فالهدف من التسمية ببساطة هو أن يكون لنا القدرة على إعطاء الكائن اسم بينما الهدف من التقسيم هو وضع الكائنات المسماه فى مجاميع منظمة تعكس التشابه بين أفراد كل مجموعة والاختلاف بين المجاميع المختلفة . ولو كان اهتمامنا مقصوراً على التعريف كما يحدث مثلاً عند تعريف مرض ما فإن الصفات المستخدمة فى مثل هذا التعريف يجب أن يكون من السهل قياسها وإجرائها فى المعامل المختلفة كما أنه يجب أن يكون تعريفا مفيدا يتوصل إليه بدراسة أقل عدد ممكن من الصفات ، بمعنى آخر أننا نرغب فى تكوين مفتاح تقسيمى له قيمة عملية وتندرج معظم أنواع التقسيم الميكروبى تحت هذا النوع . ومن المحتم أن تكون هناك بعض الصفات أهم من الأخرى لأنها ببساطة أكثر نفعا فى عملية التعريف . ولسوء الحظ (أو حسن الحظ فى رأى البعض) فإن التقسيم المبنى على أساس وراثى والذى يعتمد على العلاقات التطورية بين الكائنات الدقيقة غير ممكن بسبب عدم وجود أدله كافية تدعمه وتعطى الحفريات الميكروبية القليل من التفاصيل بينما الطرق الأكثر تقدما التى تعتمد على الدراسات البيولوجية الجزيئية مازالت فى مهدها . ومع هذا فقد أجريت محاولات حديثة لعمل تقسيم أكثر سهولة . فالتقسيم العددى باستخدام الحاسب الآلى يعتمد على دراسة أكبر عدد من الصفات يعطى لكل منها قيمة مماثلة ، وتدخل النتائج فى الحاسب الآلى وذلك لتحديد التشابه والاختلاف بين مجاميع الكائنات الدقيقة وبذلك يمكن تحديد المجاميع الطبيعية .

ونذكر فيما يلى الصفات التى يستخدمها المشتغلين بعلم الميكروبيولوجيا :

١ - **صفات مورفولوجية** : والتى قد تم مناقشتها فى الباب السابق حيث تشتمل على شكل وحجم الخلية ، التفاعل مع الصبغات ووجود أو عدم وجود جراثيم ، شكل التكاثر ، نوع الحركة .... الخ .

٢ - **الصفات المزرعية** : وهذه تشمل الاحتياجات المزرعية للتكاثر (عناصر غذائية ، الأكسجين ، درجة الحرارة .. الخ) والطريقة التى يحدث بها النمو فى البيئات السائلة وعلى البيئات الصلبة خاصة (مثل شكل المستعمرة) .

٣ - **الصفات البيوكيميائية** : هناك صفات بيوكيميائية متخصصة مثل نواتج التمثيل الغذائى ووجود أو غياب أنزيم أو تفاعل معين .

٤ - **الصفات السيرولوجية** : يمكن الكشف عن طبيعة الانتيجينات السطحية باستخدام الأجسام المضادة المتخصصة (صفحة 156) .

٥ - **الصفات الوراثية الجزيئية** : وهذا اتجاه جديد فى التقسيم حيث أصبح متاحا بعد التقدم الذى حدث فى علوم البيولوجيا الجزيئية فمثلا يمكن استعمال عوامل متعلقة بتركيب الحمض النووى DNA فعلى الرغم أن كمية الأدينين (A) مساوية للثيامين (T) وكمية الجوانين (G) مماثلة لكمية السيتوسين (C) الا أن هناك تنوع كبير فى النسبة بين الجوانين والسيتوسين (G + C) إلى الأدنيين والثيامين (A + T) من جهة أخرى .

بفرض اتباع نظام تقسيمى من نوع ما كيف يمكن تسمية إحدى الكائنات الحية الدقيقة ؟ فى العادة تستعمل تسمية ثنائية حيث يعطى كل نوع اسم مكون من كلمتين : الأولى هى الجنس وتبدأ بحرف كبير والثانية هى النوع تبدأ بحرف عادى . وأحيانا يقسم النوع إلى أصناف (Varieties) أو سلالات (Strains) : ومثالا لذلك (سلالة) K 12 (نوع) **coli** (جنس) **Escherichia** .

ومن الواضح انه بمجرد استعمال التسمية الثنائية البسيطة يتضح أن هناك نظام طبقى قد استخدم وأن هناك ثلاث أسئلة تطرح نفسها :

(أ) كيف حدد النوع ؟

(ب) كم من الأنواع يمكن جمعها تحت جنس واحد وما هى الصفات المميزة لهذا التجميع ؟

(جـ) هل يجب جمع الأجناس بطريقة مماثلة لتكوين تقسيم متعدد الطبقات ؟

دعنا نتناول هذه الأسئلة باختصار خاصة ما يتعلق بالبكتريا :

(أ) **النوع** : يعد التكاثر الجنسى نادر الحدوث وإذا حدث فيكون بصورة أولية لا تسمح بتعريف النوع على أساس القدرة على التزاوج . بالإضافة إلى أن الكائنات الحية الدقيقة فى العادة أحادية المجموعة الكروموزمية وغالبا ما تكون معرضة للانتخاب الوراثى ، بمعنى آخر يحدث تكوين أشكال جديدة مختلفة من هذه الكائنات بسرعة شديدة استجابة للتغير فى البيئة (انظر صفحة 132) . وكل ما يمكننا عمله هو أن نختار صفات عامة مفيدة نستعملها فى تحديد النوع .

(ب) **الجنس** : وبطريقة مماثلة نجد أن تجميع الأنواع فى أجناس يجب أن يكون بطريقة عملية خاصة فى غياب المعلومات عن التاريخ الوراثى . ومرة أخرى يجب استخدام مجموعة من الصفات المتماثلة أكثر تحديدا وأصالة من تلك المستعملة فى تحديد النوع . ويجب الاعتراف بأن عدم وضوح تعريف الجنس أدى إلى اختلاف شديد فى استعماله لهذا نجد أن جنس Bacillus يشمل كل البكتريا الهوائية العصوية الشكل المحتوية على جراثيم داخلية الموجبة لصبغة جرام حيث يشتمل على عدد كبير من الأنواع . ومن ناحية أخرى الجنس **Salmonella** محدد بمجموعة من البكتريا الممرضة للانسان والحيوانات الأخرى وباستثناء نوع المرض الذى تحدثه والتركيب الكيمائى الخاص للأنتيجنيات الموجودة فى جدر الخلية نجد أن أنواع هذا الجنس تختلف اختلافا ضئيلا للغاية فيما بينها . وقد أكد استعمال الحاسب الآلى فى التقسيم العددى وجود علاقة قوية بين الأنواع أكثر منها بين الأجناس ، أى أن البكتريا توجد فى مجاميع طبيعية على الرغم من أن حدوث ذلك قد يكون نتيجة لاستيطانها لبيئات طبيعية وقيامها بأدوار متشابهه تأقلمت عليها . وقد أدى هذا التأقلم فى حد ذاته إلى انتخاب صفات معينة .

(جـ) العائلات وغيرها :

من المعتاد أن تجمع الأجناس مع بعضها ثم يتوالى ذلك فى تقسيم وراثى متصاعد كما

هو مبين فى الأقسام التالية الأنواع ، الأجناس ، (القبائل) ، العائلات ، (تحت الرتبة) ، الرتب ، الصفوف . وبالطبع فإنها فكرة جذابه لذوى العقول المنهجية أن يتبنوا هذا النظام ، ولكن نظرا لأن هذا التقسيم لايساعد على تعريف أو تسمية الكائنات فإنه يلزم الاعتماد على التاريخ الوراثى لهذه الكائنات . ولكن لما كنا لا نعرف كثيرا عن التطور والنشوء الميكروبى فإنه من المشكوك فيه أن تكون هناك أى فائدة لوضع تقسيمات وسطية عند تقسيم الكائنات بدائية النواة تفصل بين البكتريا والطحالب الخضراء المزرقة من جهة وبين الأجناس التابعة لهذه المجموعة من الجهة الأخرى . بينما قد يكون ممكنا عمل تقسيمات رئيسية فى المجاميع الأساسية للكائنات الدقيقة حقيقية النواة (الطحالب ، الفطريات والبروتوزوا) ولكن مرة أخرى يمكن المجادلة فى هذا الشأن بأنه لايوجد أى دليل من ناحية التاريخ الوراثى قد يؤيد ذلك .

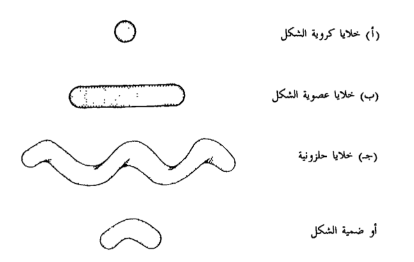
الكائنات الحية الدقيقة بدائية النواة

كيف يمكننا تقسيم الكائنات الحية الدقيقة بدائية النواة ؟ ربما يكون منطقيا أن يكون تعبير الكائنات الحية بدائية النواة معادلاً للتعبير عن البكتريا إلا أن اكتشاف الطحالب الخضراء المزرقة واعتبارها أيضا بدائية النواة قد سبب خلطا فى هذا الشأن . فى هذا الكتاب سوف نستعمل اصطلاح الطحالب الخضراء المزرقة ويقصد به تلك الكائنات بدائية النواة التى تنتج الأكسجين خلال عملية التمثيل الضوئى بينما سنطلق على كل الخلايا الأخرى بدائية النواة اسم البكتريا . وفى الحقيقة توجد فروق كبيرة داخل مجاميع البكتريا أكبر من تلك التى توجد بين بعض مجاميع البكتريا والطحالب الخضراء المزرقة ، ولكن من الصعب لأسباب تاريخية الاستغناء عن استعمال التسمية الأخيرة .

هل من الممكن تقسيم البكتريا إلى مجاميع رئيسية ؟ مع أن هذا يحدث فى الغالب فقد سبق وأن أشرنا إلى أن هذا التقسيم ليس حقيقيا فى ضوء المعلومات المتوفرة لدينا حاليا . كما سنشير إلى بعض المجاميع التى سيأتى ذكرها فيما بعد مثل البكتريا الهلامية ، البكتريا المثبتة للنتروجين الجوى ، البكتريا الحلزونية والتى لا يوجد ما يدعم استقلالها وراثيا ومع ذلك يستخدم هذا التقسيم لكونه ملائما . والآن دعنا نعرض لتنوع الخلايا بدائية النواة من حيث تركيبها تاركين صفاتها البيوكيميائية والوراثية لفصول أخرى تالية .

أشكال الخلية :

هناك ثلاث أشكال رئيسية للخلايا



التراكيب متعددة الخلايا :

فى بعض الأحيان تنقسم الخلايا وتتكون جدر عرضية ولكن لاتنفصل الخلايا الجديدة عن بعضها ، وبهذه الطريقة يتكون تراكيب غير متميزة حيث يعتمد شكل هذه التكوينات على المستويات التى تنقسم فيها هذه الخلايا . لهذا فالخلايا العصوية تنقسم فى مستوى واحد وإذا ظلت الخلايا متصلة يتكون خيط متصل من الخلايا . ومثل ذلك الانقسام يلاحظ فى الطحالب الخضراء المزرقة (شكل ٩ – ٢ صفحة 175) .



وبالنسبة للخلايا الكروية قد تظهر عدة أشكال من هذه التراكيب :

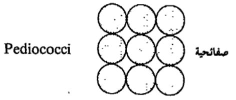
(أ) خلايا تنقسم فى مستوى واحد وتظل متصلة فى أزواج مثل :

ثنائية Diplococci

(ب) خلايا تنقسم فى مستوى واحد وتظل متصلة لتكون سلسلة مثل :

سبحية Streptococci

(جـ) خلايا تنقسم فى مستويين لتعطى صفائح مثل :

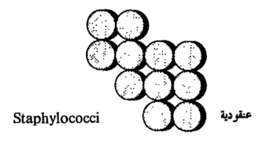


(د) خلايا تنقسم فى ثلاث مستويات بانتظام لتعطى مكعبا مثل :

Sarcina

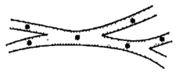


(هـ) خلايا تنقسم فى ثلاث مستويات بدون انتظام مثل :



أما البكتريا الحلزونية فغالبا لاتكون خلاياها متصلة ولكن الخلايا المنفصلة لكل نوع تظهر اختلافات مميزة فى الطول وفى إحكام تكون الحلزون .

فى جميع الحالات السابقة يكون الشكل المتعدد للخلايا متكونا من خلايا منفردة ، ومع هذا ففى الأكتينوميسيتات تتكون خلايا عديدة الأنوية بدون جدر عرضية حيث تنتج ميسيليوما متفرعاً ليس له طول محدد والذى يبدو فى مظهرة مشابهاً للفطريات الخيطية :

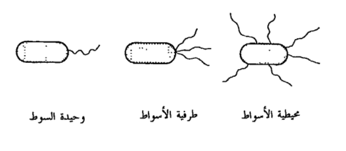


الجراثيم والحوصلات :

لقد تم مناقشة الجراثيم والحوصلات فى الباب الثانى (صفحة 43) ، حيث غالبا ما يستفاد من تواجدهم وموقعهم فى الخلية كصفات مميزة .

الحركة :

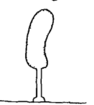
كما ذكرنا سابقا (صفحة 41) قد تتحرك الكائنات بدائية النواة بالأسواط أو بالانزلاق أو بواسطة خيط مركزى . وإذا ما كانت الحركة بواسطة الأسواط ، قد يكون ترتيب هذه الأسواط ذو فائدة فى تعريف وتمييز هذه الكائنات .



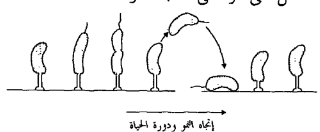
محيطية الأسواط   طرفية الأسواط   وحيدة السوط

الأعناق :

قليل من أنواع البكتريا لها أعناق تستخدم فى الالتصاق بالأسطح الصلبة حيث تستعمل فى ذلك ماسك فى طرف العنق .

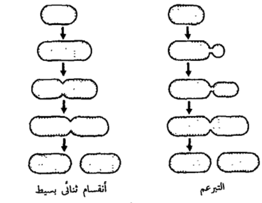


وهذا الاتصال يصبح ثابتا ، وعند انقسام الخلية تنتج خلية ذات سوط تسبح فى الوسط حتى تجد سطح جديد فتكون عنق بدلا من السوط ولهذا فدورة الحياة لهذه الكائنات بسيطة تشتمل على مرحلتى السباحة والالتصاق .



البراعم :

تنقسم غالبية البكتريا بالانقسام الثنائى البسيط حيث تتضاعف الخلايا فى الحجم ثم تنقسم إلى نصفين متماثلين يدخل كل منهما فى انقسام آخر ليعيد هذه العملية . ومع هذا فهناك القليل من أنواع البكتريا التى تنقسم بالتبرعم وبطريقة مماثلة للتبرعم فى الخمائر .



من الصفات الملفتة للانتباه أن الانقسام الثنائى يتميز عن التبرعم فى أنه لا تكون هناك آباء وأبناء ولا تظهر علامات الشيخوخة بالمعنى المفهوم .

غياب جدار الخلية :

بعض البكتريا التى تسمى عادة بالميكوبلازما ليس لديها القدرة على تكوين جدار خلوى . لهذا فهى متعددة الأشكال لعدم وجود جدار صلب وتكون عرضة للتحلل رغم أن الغشاء البلازمى لها قد يكون مدعما بمواد مثل الاستيرولات المستمدة من العائل التى تتطفل عليه.ومن المحتمل أن تكون الميكوبلازما أكثر انتشارا فى الطبيعة عما كان معتقدا ، فمن الممكن عزلها بسهولة من دماء الحيوانات ذات الدم الحار بما فيها الإنسان وكذلك من النباتات . وحيث أنها قد تكون نشأت نتيجة فقد بعض البكتريا لجدرها الخلوية إلا أنها تختلف عنها فى كثير من الصفات الهامة ، ولعل هذا يوضح الخطورة فى تجميع العديد من الكائنات الحية وتقسيمها بناءا على صفة واحدة .

الطفيليات التى تعيش داخل الخلايا حقيقية النواة :

هناك أنواع من البكتريا تستطيع التطفل على الكائنات حقيقية النواة وأشد ما يثير الانتباه هى تلك المجموعة التى فقدت القدرة على النمو خارج خلايا العائل . وتتميز أفراد هذه المجموعة بأن نظام تمثيلها الغذائى بدائى جدا ويفترض أن تطورها إلى معيشة التطفل التام كان سببا فى التبسيط الشديد فى الأنزيمات والجينات اللازمة لها (صفحة 116) . ولهذا السبب فإن حجم هذه البكتريا يكون صغيرا حيث قد يصل قطرها بالتقريب إلى 0. 3 µm. ، وبذلك تكون أصغر أشكال الحياة الخلوية الممكنة حيث أن هناك حدود لدرجة اعتمادها فى حياتها على خلايا العائل دون أن يصبح تركيبها مماثل لتركيب الفيروس . وبالتأكيد فان الكائنات من هذا النوع (الركتسيا والكلاميديا) تحتوى كل من الحمض النووى DNA والحمض النووى RNA كما أن لها معظم خصائص الكائنات الحية بدائية النواة .

الطفيليات التى تعيش داخل الخلايا بدائية النواة :

اكتشفت حديثا مجموعة من البكتريا تتميز بحركتها السريعة وهى تعيش متطفلة على كائنات أخرى بدائية النواة . فنجد أن هذه الخلايا تلتصق بجدار خلية العائل وتخترقها إلى داخل السيتوبلازم حيث تتكاثر مؤدية فى النهاية إلى تحلل خلية العائل ، ومثل هذه الكائنات تسمى bdellovibrios والتى غالبا ما تكون منتشرة فى أوساط بيئية مثل التربة .

البكتريا المكونة للأجسام الثمرية :

نجد أن القليل من البكتريا مثل الميكسوبكتريا لها خاصية تكوين أجسام ثمرية ، وهى أجسام متخصصة متعددة الخلايا مماثلة لتلك التى تكونها بعض الفطريات . فعند توفر بعض الظروف البيئية مثل نقص الغذاء تتجمع مجموعة من الخلايا الخضرية وتكون جسما ثمريا له شكل مميز للنوع وقد تتحول بعض الخلايا فى قمة الجسم الثمرى إلى حوصلة ، وتعتبر هذه المجموعة من البكتريا المكونة للأجسام الثمرية أكثر الكائنات بدائية النواة تعقيدا من حيث نظام ودورة حياتها . وقد لاقت هذه المجموعة اهتماما شديدا حيث أن عملية تكوين الأجسام الثمرية قد تمدنا بنظام بدائى وبسيط للاجابة على الأسئلة التالية والتى تعتبر مفتاحا هاما لفهم أشكال الحياة الأكثر رقيا .

(أ) ما الذى يؤدى إلى تشكل الخلايا وتميزها ؟ ولقد ذكرنا بالفعل أن عملية التجرثم فى الكائنات بدائية النواة تمثل أبسط النظم فى هذا الخصوص .



(ب) ما الذى يعمل على تجمع الخلايا لتنتج تركيبا متعدد الخلايا ؟

(جـ) ما الذى يحدد شكل هذا التركيب المتعدد الخلايا ؟

الكائنات الحية حقيقية النواة :

تشتمل المجاميع الثلاثة المكونة للكائنات حقيقية النواة على الفطريات والطحالب والبروتوزوا (أحيانا يفصل عنها المجموعة الرابعة المشتملة على الفطرياتالهلامية) ومع أنه من الممكن التفرقة بوضوح بين الصفات المميزة لكل من هذه المجموعات فإن هناك بعض الأشكال الوسطية . وفى الحقيقة فإنه من الصعوبة بمكان أن نضع عدد محدد من

الصفات المميزة لكل مجموعة . وتلقى مجموعة الكائنات حقيقية النواة اهتماما قليلا حيث أنها تقع بين مجموعة فريدة من الكائنات الدقيقة (البكتريا والفيروسات) والتى اهتم بدراستها علماء الميكروبيولوجيا وبين مجموعة أخرى (النباتات والحيوانات) عكف على دراستها علماء النبات والحيوان . وتشذ الخمائر عن هذه القاعدة لدرجة ما وذلك لأهميتها الاقتصادية ولبساطتها نسبيا . ويعتبر هذا النقص فى المعلومات من سوء الحظ حيث أن الكائنات حقيقية النواة تشتمل على مجموعة كبيرة من الكائنات الفريدة والمتنوعه والتى سوف نعلم عنها الكثير بلا شك فى المستقبل . وربما سيكون نتيجة مثل هذا التطور العمل على فصل الكثير من المجاميع والتى قد تم ضمها ووضعها فى الثلاث مجاميع الرئيسية المعروفة حاليا .

الفطريات :

والآن دعنا نأخذ فى الاعتبار بعض الصفات الرئيسية للفطريات الخيطية :

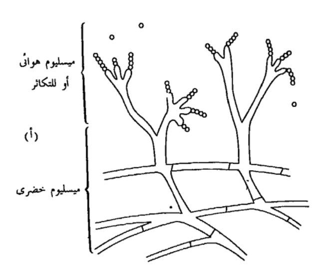
١ – عبارة عن كائنات دقيقة حقيقية النواة غير ذاتية التغذية تستمد غذائها على صورة ذائبة بالامتصاص خلال الغشاء البلازمى بطريقة مماثلة للكائنات بدائية النواة .

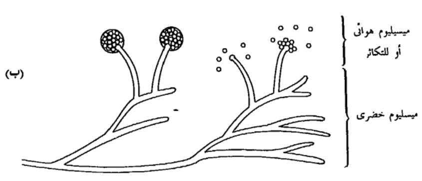
٢ – لها جدار خلوى سميك يتكون عادة من عديدات السكريات البسيطة (انظر صفحة 49) .

٣ – لها نمو خيطى متفرع (ميسليوم) مكون من خيوط فردية تسمى هيفات ، وتنتج الهيفات المتشابكة والملتفة عن طريق التفرع الذى يتكون خلف القمة النامية لها أو بواسطة الالتحام الهيفى ، وفى بعض الأحيان قد تكون الهيفات المتجمعة تركيبا يماثل تركيب الأنسجة فى النباتات الراقية (كما هو الحال فى فطريات عيش الغراب) .

٤ – الهيفات أنبوبية تتكون أساساً من أنابيب عديدة الأنوية والسيتوبلازم مستمر خلالها . فى بعض الهيفات لاتكون هناك جدر عرضية بينما فى البعض الآخر توجد حواجز عرضية بها ثقوب تسمح باستمرارية السيتوبلازم .

٥ – تتأقلم الغالبية على المعيشة فى التربة حيث أنها مهمة فى تحويل الكربون العضوى فى التربة إلى CO_2 . يختص الجزء الأعظم من الكائن (الميسليوم الخضرى) بامتصاص المواد الغذائية والتثبيت بالأسطح الصلبة (شكل ٣–١) .





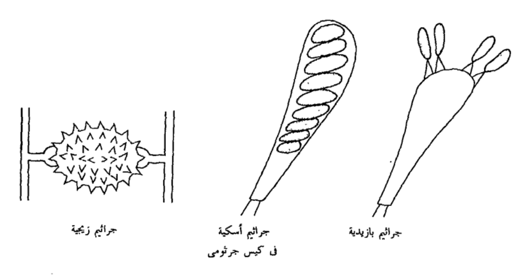
(شكل ٣ - ١) نوعان مختلفان من الجراثيم غير الجنسية ونوعان متميزان من الميسليوم الخضرى

(أ) Penicillum مكوناً جراثيم غير جنسية على شكل كونيديات .

(ب) Mucor مكوناً جراثيم لاجنسيه فى كيس جرثومى وميلسيوم خضرى

٦ - تنتج من الميسليوم الخضرى هيفات هوائية متخصصة ومنها تتكون جراثيم لاجنسية . وقد تتكون الجراثيم كخلايا فردية فى قمة الميسليوم (الجراثيم الكونيدية والكونيديات) أو داخل تركيب يسمى حافظه جرثومية (شكل ٣ - ١) وفى بعض الأحيان تتكون الجراثيم داخل الهيفا بطريقة تشابه تكوين الجراثيم الداخلية فى البكتريا مكونة جراثيم ساكنة (الجراثيم الكلاميدية) ، وبينما يكون الميسليوم الخضرى عادة عديم اللون نجد أن الميسليوم الهوائى أو التكاثرى غالبا ذو ألوان متألقة . وهذه العملية لها وظيفة هامة ألَا وهى الانتشار حيث أن كل فطر ينتج أعداد هائلة من الجراثيم الخفيفة التى تحمل بسهولة من مكان لآخر بواسطة تيارات الهواء .

٧ – الجراثيم الجنسية (شكل ٣ – ٢) تتكون هذه الجراثيم نتيجة للتكاثر الجنسى . ويوجد عدد كبير من التركيبات التى تحمل الجراثيم الجنسية وقد تكون الأجسام الثمرية معقدة التركيب . وكنتيجة للتكاثر الجنسى تحدث مراحل متبادلة للخلايا ذات المجموعة الكروموزومية الأحادية والخلايا ذات المجموعة الكروموزومية المزدوجة ، مما ينتج عنه دورة حياة معقدة (انظر صفحة 139) . ومن الواضح أن الفطريات بها عدد كبير من التركيبات التى تحمل جراثيم وهذه يمكن استعمالها بكفاءة فى تقسيم هذه المجموعة من الكائنات الحية الدقيقة .



شكل (٣ ـــ ٢) أشكال مختلفة من الجراثيم الجنسية

ومع أن الغالبية العظمى من الفطريات تكون هيفا متعددة الخلايا كما أوضحنا سابقاً إلا أن القليل منها يتميز بأنه أحادى الخلية . وهذه هى الخمائر والتى يتضح أن هناك مؤشرات لتطور منشأها نتيجة لقدرة البعض منها ـــ فى ظروف بيئية معنية ـــ على إنتاج سلاسل من الخلايا تماثل الهيفات وتسمى بالميسليوم الكاذب ، والعديد منها أيضا ينتج جراثيم جنسية ولا جنسية . وطريقة التكاثر العادية بها هى التبرعم مع أن بعضها يتكاثر بالانقسام الثنائى . وتوجد الخمائر عادة فى البيئات السكرية حيث تقوم بوظيفتها المعروفة وهى التخمر الكحولى (انظر صفحة 179) .

الطحالب :

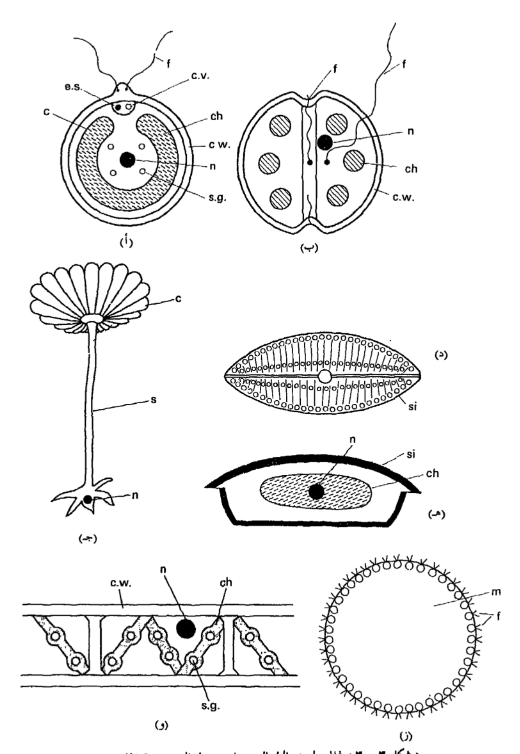
من الصعب التقليل من أهمية الطحالب فى الماء العذب أو فى البيئات البحرية حيث قد توجد بكميات كبيرة فى الطبقات السطحية بالمياه بحيث تبدو ملونة . وتكون الطحالب فى المحيطات الجزء الأعظم من الغطاء النباتى وربما تكون كتلة الطحالب هذه أكبر من كل النباتات الموجودة على سطح الأرض كما أنها هى المسئولة عن تصنيع ما يزيد على ٥٠٪ من المواد العضوية مستخدمة ثانى أكسيد الكربون . ومع أن الطحالب توجد أساسا فى المياه فان البعض منها ينمو فى التربة وعلى سطح النباتات الخضراء طالما توفر لها قدر معقول من الرطوبة . وفى البيئات الأكثر جفافا يتحتم على الطحالب أن تحتمى من الجفاف بالتعايش مع الهيفات الفطرية لتكون آشنات (صفحة 150) .

ماهى أهم مميزات الطحالب ؟

١ – تحصل على الطاقه اللازمة لها بواسطة عملية التمثيل الضوئى المنتجة للأكسجين والتى تتم فى البلاستيدات الخضراء التى تظهر اختلافا شديداً فى الشكل والعدد بكل خليه ، كما أنه يوجد أنواع مختلفة من صبغات الكلوروفيل التى تعتبر فى حد ذاتها مميزه لكل مجموعة من الطحالب .

٢ – تظهر الطحالب اختلافات مورفولوجيه كبيرة . فعلى الرغم من أن البعض منها وحيد الخلية نجد أن البعض الآخر يكوِّن تجمعات من الخلايا منغمسة فى طبقة مخاطية ، والبعض الآخر ينتج خيوطاً قد تكون متعددة الخلايا والأنوية أيضاً . وبعض الطحالب مثل الأعشاب البحرية تكون مستعمراتها تركيباً معقداً لدرجة قد تماثل تركيب النباتات وذلك على الرغم من عدم وجود أى تميزٌ وظيفى كما هو الحال بالنسبة للنباتات والحيوانات الراقية . ويجدر الإشاره إلى أن بعض الطحالب البحرية البنيه قد لا تندرج تحت الكائنات الحية الدقيقة المجهرية حيث يبلغ طولها الخمسون متراً .

وتصل بعض الطحالب وحيدة الخلية إلى درجة مدهشة من كبر الحجم والتعقيد . فنجد أن خلايا طحلب Acetabularia ذات قاعدة تشبه الجذور وجذع قد يصل فى طوله إلى عدة سنتيمترات وغطاء شبيه بالمظله (شكل ٣ – ٣ أ) ، ويستخدم هذا الطحلب كنموذج لدراسة علاقات السينوبلازم بالنواه ، حيث أن النواة الكبيرة الحجم



(شكل ٣ - ٣) نماذج لبعض الطحالب . ا - هـ طحالب وحيدة الخليه

(أ) Chlamydomonas ،(ب) Gymnodinium ، (جـ) Acetabularia ، (د) دياتوم - منظر علوى للصدفة السليكونيه ، (هـ) قطاع عرضى ى الدياتوم . (و) طحلب خيطى Spirogyra ، (ز) قطاع عرضى فى مستعمره طحلبيه Volvox حيث : C غطاء ، .C. V فجوه منضغطة ، .C. W جدار الخلية ، Ch بلاستيدات خضراء ، e. s بقعه عينيه ، f سوط ، m طبقة جلاتينيه ، n النواه ، S. g حبيبه مخزنه ، s العنق ، si صدفه سليكونيه .

تستقر فى قاعدة الخليه كما أنه يسهل نزعها . وتتميز الأجزاء المحتوية على النواة بقدرتها على التوالد وتكوين تركيبات كاملة ولكن حتى الأجزاء غير المحتوية فانها تستطيع تكوين قاعدة وغطاء بشرط توفر كمية معقولة من السيتوبلازم ، ولعل هذا يوضح مدى إمكانية مكونات السيتوبلازم الأكثر ثباتا (والتى يفترض أنها الحمض النووى RNA حامل الرسالة) فى التحكم فى عملية التوالد .

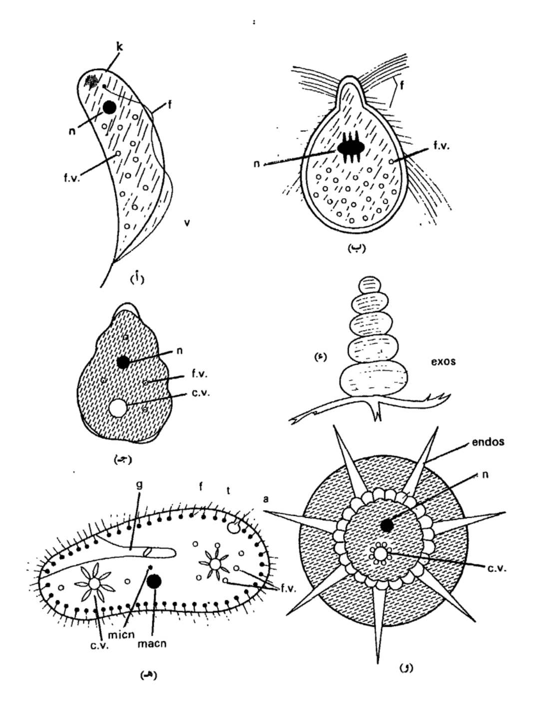
٣ - تتميز الطحالب بقدرتها على الحركة بواسطة الأسواط ، وفى حالة الطحالب التى تعيش فى مستعمرات كبيرة مثل طحلب Volvox تتجمع خلاياه بأعداد تصل إلى 50000 مكونة تركيبا معقداً حيث تتميز حركة الأسواط بالتوافق المنتظم عبر خلايا المستعمرة بأكملها . ومن الناحية الأخرى يقال أن الدياتومات تتحرك بواسطة الدفع النفثى أو النافورى .

٤ - تحاط خلايا الطحالب بجدار خلية سميك يتكون أساسا من السليولوز على الرغم من وجود بعض المركبات الإضافية الأخرى مثل البكتين ، الزيلان ، كربونات الكالسيوم . ومن أكثر الجدر جمالاً الصدفة السليكونية التى تحيط بالدياتومات والتى تأخذ أشكالا جماليه متعدده ، وتبقى مثل هذه الصدفات بعد موت الطحلب حيث تتراكم مكونة ترسيبات حفرية قد تصل فى سمكها إلى 1000 m .

٥ - تتكاثر الطحالب جنسيا ولا جنسيا وقد تظهر دورات حياة بالغة التعقيد ، وحتى الآن قد تم وصف وتعريف مايزيد عن 17000 نوع من الطحالب يوضح الشكل (٣ - ٣) البعض منها .

البروتوزوا :

تعرف البروتوزوا ببساطة بأنها كائنات حيوانية وحيدة الخلية ، ولو أن مثل هذا التعريف لايعد ذو فائدة كبيرة للباحثين فى مجال الميكروبيولوجيا حيث قد يفضل القول بأنها مجموعة من الكائنات الحية الدقيقة وحيدة الخلية ذات نواه حقيقيه والتى تعتمد فى تغذيتها على التقام الغذاء حيث لاتحاط خلاياها بجدر . ويوضح الشكل (٣- ٤) بعض أمثلة البروتوزوا ، وفيما يلى عرض مبسط لبعض خصائص هذه الكائنات .



شكل ٣ – ٤ نماذج لبعض البروتوزوا ، (أ) بروتوزوا trypanosome (ب) Trichonympha . (شكل أميبى) (جـ) Amoeba ، (د) أميبا Formainiferan (هـ) Parameciun . حيث : a ، ثقب إخراجى ، C. v. فجوه منضغطة ، exos هيكل خارجى ، endos هيكل داخلى ، F. v. ، فجوة غذائية ، f سوط ، g مريء ، k كينيتوزوم ، m فم ، n نواه ، macn النويه الكبيره ، micn النوية الصغيرة ، ps قدم كاذب ، t ترايكوسست ، u غشاء متموج . (و) أميبا الراديولاريا

١ – قد تستخدم نوعية الحركة فى تقسيم البروتوزوا إلى عدة مجاميع رئيسية :

(أ) تعتبر الحركة الأميبية مميزة لمجموعة تعرف بالأميبا Amoeba (شكل ٣ – ٤ جـ) حيث يتدفق السيتوبلازم مكوناً قدماً كاذباً فى اتجاه الحركة على الأسطح الصلبة وحيث يحدث انكماش للسطح المقابل للخلية .

(ب) تحدث الحركة بالأسواط بواسطة مجموعة من البروتوزوا تعرف بالسوطيات ، وبعضها كائنات خالية من الكلوروفيل مشابهه لبعض أنواع الطحالب ، وقد تنشأ عن الفقد النهائى وغير الرجعى للبلاستيدات الخضراء التى تتميز باحتوائها على الحمض النووى DNA الخاص بها ، ولاشك أن مثل هذه العملية توضح الحدود الواهية بين المجاميع الرئيسية للكائنات الحية حقيقية النواه . تحتوى بعض أنواع البروتوزوا على أسواط بسيطة التركيب فى حين يحتوى البعض الآخر على أسواط غاية فى التعقيد والترتيب كما هو الحال بالنسبة للجنس Trichonympha (شكل ٣ – ٤ ب) الذى يستعمر القناة الهضمية للنمل الأبيض حيث تعمل على هضم السليولوز المتوفر فى الخشب الذى تتغذى عليه .

(جـ) تتحرك مجموعة الهدبيات بواسطة أهداب تغطى معظم سطح الخلية ، وقد تتماثل الأهداب فى التركيب مع الأسواط إلا أنها أقصر طولاً كما أن حركتها أكثر توافقاً بدرجة تسمح بتعاقب موجات الانضغاط .

٢ – تتغذى البروتوزوا بواسطة التقام حبيبات الغذاء الصلبة مثل البكتريا وخلافه . ويؤدى مثل هذا الالتقام إلى تكون فجوات غذائية تحدث بداخلها عملية الهضم ، وفى النهاية تقذف الأجزاء غير المهضومة إلى الخارج .

وفى بعض أنواع البروتوزوا مثل مجموعة الأميبا لاتتواجد أماكن مميزة على سطح الخلية ، بينما فى البعض الآخر كما هو الحال بالنسبة للسوطيات عادة مايوجد « فم » لدخول الغذاء و« فتحة شرج » لخروج المخلفات (شكل ٣ – ٤و) .

٣ – لاتحاط البروتوزوا بجدار خلية ، إلا أن بعض أنواع الأميبا قد تحاط بتركيب صلب يعتبر كهيكل نظراً لأنه قد يوجد بالخارج أو بالداخل ، ولأحتوائه على ثقوب تسمح بمرور الغذاء الذى يتم التقامه . وقد تحاط بعض أنواع البروتوزوا البحرية (الفورا مينيفرا) بهياكل خارجية متعددة الغرف تتكون من كربونات الكالسيوم

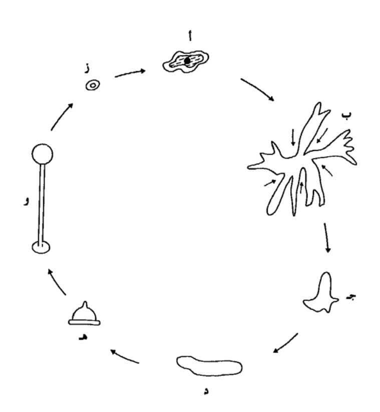
(شكل ٣ — ٤ د) والتى قد تشابه الدياتومات فى ترسيبها على مر العصور والأحقاب الجيولوجيه ، والبعض الآخر مثل الراديولاريا يوجد بها هياكل داخلية من السليكا أو من كبريتات الاسترانشيوم .

٤ — تتميز البروتوزوا بأن دور حياتها أكثر بساطة من الطحالب أو الفطريات ولكن هناك بعض الشواذ كما فى حالة البروتوزوا المرضية (مثل الكائن المسبب لمرض الملاريا) .

٥ — تتميز البروتوزوا بدرجة عالية من التخصص الوظيفى تفوق فى درجتها أقرانها من الكائنات الحية الدقيقة وحيدة الخلية . ومن أشهر الأمثلة على ذلك البرامسيوم Paramecium (شكل ٣ — ٤ هـ) حيث يحتوى على نظام متخصص للحصول على الغذاء يتكون من فم ومرىء ، فتحة شرج ، فجوات منضغطة ، أهداب على سطح الخلية بالإضافة إلى جهاز نووى معقد يتكون من نويات دقيقة ونويات كبيرة . ويبدو أن كائن مثل البرامسيوم يمثل أقصى ما يمكن الوصول إليه من تخصص وظيفى فى الكائنات وحيدة الخلية والذى على إثره حدث التطور النشوئى الأكثر فائدة بالنسبة للتخصص الوظيفى بين خلايا الكائنات الحية عديدة الخلايا لتتكون الأنسجة المختلفة .

الفطريات الهلامية :

تم إدراج هذه المجموعة من الكائنات الحية تحت مجموعة الفطريات وكذلك تحت البروتوزوا ، ولكن من الأفضل اعتبارها مجموعة مستقلة بذاتها . فهى عبارة عن كائنات حية حقيقية النواة ليس لها القدرة على القيام بعملية التمثيل الضوئى ، وتتشابه مع البروتوزوا فى طورها الخضرى فى حين تماثل الفطريات فى مراحل تجرثمها . تعيش هذه الكائنات على الأسطح النباتية المتحللة حيث تكون ألواناً زاهية وأجساماً ثمرية منمقة . وتنقسم هذه الكائنات إلى مجموعتين أساسيتين : الفطريات الهلامية الخلوية والتى يتكون طورها الخضرى من خلية أميبية تستطيع التجمع مكونة بلازموديوم كاذب ، والفطريات الهلامية الغير خلوية حيث تكون خلية أميبية واحدة تنتج بلازموديوم متعدد الأنوية بحجم وشكل غير محدود ويتحرك على أسطح المواد التى يعيش عليها مبتلعاً حبيبات الغذاء التى تقابله ، وتعتبر المجموعة الأخيرة من هذه الكائنات من أهم الكائنات الحية الدقيقة التى تستحوذ على فؤاد وإعجاب أدباء الخيال العلمى .



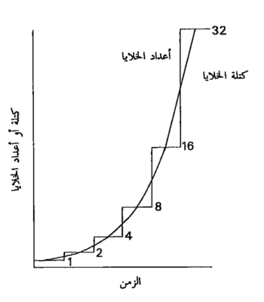
شكل ٣ – ٥ . دورة حياة الفطريات الهلامية الخلوية . خلايا أميبية خضرية (أ) تتجمع مع بعضها (بـ) لتكون بلازموديوم كاذب (جـ) الذى يأخذ فى التحرك (د) مكونا جسماً ثمرياً (هـ – و) ينتج جراثيم غير جنسية (ز) .

والآن دعنا نعرض لتاريخ حياة الفطريات الهلامية وحيدة الخلية (شكل ٣ – ٥) . تتغذى الأميبيا الخضرية على المواد الغذائية المختلفة ، وعند نفاذ مصدر الغذاء تتجمع الخلايا فى بلازموديوم كاذب يساعد على تكونه إفراز مادة شبه هرمونيه تسمى الاكرازين تعمل على اجتذاب الخلايا بواسطة الانجذاب الكيميائى ، ثم يتحرك البلازموديوم الكاذب فى اتجاه الضوء كوحدة واحدة تحيط به طبقة مخاطية تشترك فى إفرازها جميع الخلايا وذلك حتى تتوقف الحركة تماما ، وعندئذ يحدث تمييز وظيفى حيث يتكون جسم ثمرى نتيجة لتكون غلاف سليولوزى بواسطة الخلايا الخارجية فى حين تتحرك الخلايا الأخرى إلى أعلى خلال هذا الغلاف وعند وصولها إلى أعلى تتحول إلى جراثيم تنتشر فى الوسط المحيط والتى على أثر إنباتها تستأنف دورة الحياة من جديد .

الفصل الرابع

نمو الكائنات الحية الدقيقة الخلوية

عند تكاثر الكائنات الحية الدقيقة وحيدة الخلية بالانقسام الثنائى البسيط تنمو الخلية الواحدة حتى يتضاعف حجمها ، ثم تنقسم عندئذ إلى جزئين متساويين يعاود كل منهما الانقسام مرة ثانية وهكذا . ويستمر النمو – الذى يمكن تعريفه بأنه الزيادة المنتظمة فى جميع مكونات الخلية – طوال الوقت فى حين أن التضاعف يحدث عند لحظة انقسام الخلية كما يتضح من الشكل (٤ – ١) الذى يبين نمو وتضاعف الخلية الواحدة ، ويمكن الحصول على نفس النتيجة عند انقسام مجموعات من الخلايا المتزامنة النمو (أنظر صفحة 52) . إلا أن الباحثين فى مجال الميكروبيولوجيا عادة ما يتعاملون مع أعداد



شكل ٤ – ١ . نمو وتضاعف الخلية الوحيدة

هائلة من الخلايا ، فعلى سبيل المثال تحتوى المجموعة البكتيرية على 10^8 خلية ومعلق الخلايا فى البيئات السائلة التى تكاد تلاحظ بها عكارة يشتمل أيضا على 10^8خلية/ سم٣ كما أن المليجرام الواحد من خلايا البكتريا الجافة ينتج عن $3 X 10^9$ خلية . وفى وجود مثل هذه الأعداد الكبيرة نجد أن فرصة انقسام نسبه مئوية معينة من الخلايا فى وقت ما تتماثل مع فرصة حدوثها فى أى وقت آخر ، وعند توقيع كل من النمو أو التضاعف مع الوقت على شكل منحنى بيانى نجد أننا نحصل على نفس المنحنى ، وبمعنى آخر أن الخلايا فى المزارع الميكروبية تتضاعف بصورة غير متزامنة ، وعلى ذلك فإنه من الممكن اعتبار أن كل من النمو والتضاعف مرادفان لمعنى واحد حيث يمكن قياس أى منهما حسبما تقتضى الظروف المعملية .

ولدراسة تضاعف الميكروبات لابد من تقدير عدد الخلايا فى البداية والذى يمكن الحصول عليه أما بطريقة مباشرة عن طريق استخدام شريحه العد تحت الميكروسكوب ولكن المشكلة التى تواجه استخدام هذه الطريقة هو عدم القدرة على التمييز بين الخلايا الحية والميتة ميكروسكوبيا ولعل ذلك يؤدى إلى مشكلة من نوع آخر ألا وهى متى يمكن اعتبار الخلية الميكروبية ميته ؟ ولحسن الحظ فإن الإجابة على هذا السؤال بالنسبة لحياة الميكروبات لا تواجهها أية تحفظات فلسفية أو دينية مما يدفعنا إلى محاولة الإجابة على مثل هذا التساؤل . وفى الحقيقة فانه من الناحية العملية يمكن اعتبار الخلية حية إذا كان لها القدرة على الاستمرار فى الانقسام ، فى حين أنها تصبح غير حية أو ميتة عند توقفها عن التضاعف . من ذلك يتضح عدم المقدرة على التمييز فيما بين الخلايا الحية والميتة عند الفحص الميكروسكوبى على الرغم من أن هناك بعض طرق الصبغ التى قد ترتبط بصورة أو بأخرى بحيوية الخلايا . وعلى هذا فيستخدم العدُّ المباشر بواسطة الميكروسكوب للحصول على العدد الكلى للخلايا الحية والميتة . ويلزم لتقدير أعداد الخلايا الحية قياس مقدرتها على التضاعف ، ولعل هذا هو الأساس فى تقدير أعداد الخلايا الحية الذى يجرى عادة بنشر جزء معلوم من معلق الخلايا (مع تخفيفها إن تطلب الأمر) على سطح بيئة آجار مناسبة فى طبق بترى . وبعد فترة التحضين تنشأ كل مجموعة بكتيرية نتيجة لنمو خلية واحدة نشطة . وتعتبر هذه الطريقة هى أكثر الطرق حساسية فى تقدير نمو أو تضاعف الميكروبات نظراً لأن ما عداها من الطرق يتطلب وجود ملايين من الخلايا الميكروبية حتى تؤخذ القياسات بشيء من الدقة . ولسوء الحظ فإن تقدير أعداد الخلايا الحية يعد شاقا وفى كثير من الأحيان يكون إجراؤه غير ضرورى .

وهناك مجموعة من الطرق التى تستخدم فى تقدير نمو الخلايا بصورة منفصلة عن تضاعفها ، والتى من أهمها تقدير الوزن الجاف للخلايا ، تراكم بعض مكونات الخلية الأساسية ، الحجم الذى تشغله الخلايا ، أو مقدار نشاط عمليات التمثيل الغذائى . ويتوقف اختيار الطريقة المناسبة على الهدف من الدراسة التى تجرى . وعند الحاجة للتقدير السريع فإن أكثر الطرق كفاءة هى تقدير العكارة الناشئة بقياس الضوء المتشتت سواء مباشرة بواسطة جهاز النيفالومتر ، أو غير مباشرة بواسطة جهاز تقدير الطيف الضوئى .

مزارع الدفعات للكائنات الحية الدقيقة (المزارع غير المستمرة)

لنستعرض الآن نمو الميكروبات عند قياسه بعد تلقيح عدد قليل من الخلايا فى بيئة معقمة وملائمة . حيث نلاحظ أن النمو يتبع منحنى نموذجى يوضحه الشكل (٤ - ٢) مع تمييز أربعة أطوار أساسية .

١ - الطور التحضيرى :

وهى الفترة التى لايلاحظ بها أى تضاعف للخلايا ، حيث أنها تتأقلم مع الوسط الغذائى الجديد . ويختلف طول هذه الفترة حيث تكون طويلة فعلا فى حالة ما إذا كان اللقاح مكون من خلايا قديمة أو تعرضت خلاياه لأى نوع من الضرر ، أو كانت منماه سابقا فى بيئة غذائية مختلفة تماما . أما إذا ما كانت الخلايا الملقحة سريعة النمو ومأخوذة من بيئة ملائمة فإن فترة هذا الطور تكون قصيرة جدا قد يصعب التعرف عليها .

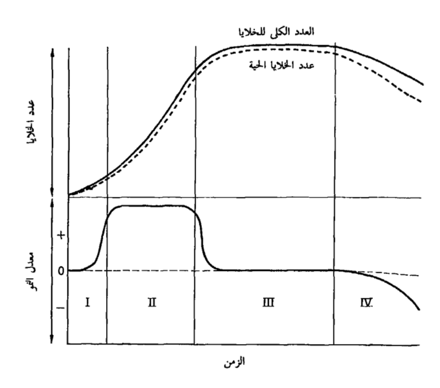
٢ - طور التضاعف الأسِّى :

حيث تنمو الخلايا بمعدل ثابت ، بمعنى أن مدة الجيل (وهى المدة المحصورة بين انقسامين متتاليين) تكون ثابتة ، ويؤدى ذلك إلى حدوث نمو الميكروبات ــ خاصة وحيدة الخلية ــ بمعدل ثابت مما ينتج عنه زيادة أسية فى كتلة وأعداد الخلايا (شكل ٤ - ٣). وقد جرت العادة سابقا على تسمية هذه المرحلة بالطور اللوغاريتمى ولكن وجد أنه من المناسب أن يطلق عليه طور التضاعف الأسِّى والذى يتميز بحدوث زيادة بطيئة فى أعداد الخلايا يعقبها ارتفاع مفاجىء فى الأعداد . وهناك عدة ملاحظات عمليَّه

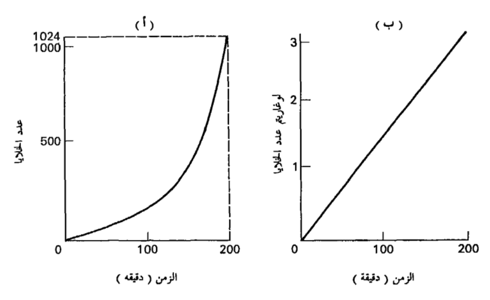
لمثل هذا النمو فى الطبيعة ، فعلى سبيل المثال نجد أنه بعد حدوث العدوى بالميكروبات يسفر الميكروب المعدى فى الجسم المصاب مما يستلزم مضاعفة كفاءة أى وسيلة تستخدم فى مقاومة هذا الميكروب ويختلف معدل النمو الأسى اختلافا كبيرا ، حيث قد تصل مدة الجيل لبعض الميكروبات النامية على درجات الحرارة المرتفعة إلى حوالى عشرة دقائق فى حين أن بعض الميكروبات التابعة للخلايا حقيقية النواة قد تطول مدة الجيل إلى ٢٤ ساعة . ولكن لا يستمر طور التضاعف الأسى إلى ما لا نهاية . فإذا ما أخذنا فى الاعتبار إحدى الخلايا البكتيرية النموذجية التى تصل فى حجمها إلى واحد ميكرومتر مكعب والتى تنمو بكفاءة حيث تكون مدة الجيل عشرين دقيقة ، فكما يوضح الشكل (٤ - ٣) نجد أنه بعد مرور ثلاث ساعات ونصف (مائتين دقيقة) تزداد أعداد الخلايا بمعدل 1024 مرة أى بالتقريب ألف مرة ، وذلك يعنى أن طوال مدة طور التضاعف الأسى تزداد أعداد الخلايا بمعدل ألف مرة كل ثلاث ساعات ونصف ونتيجة ذلك يوضحها الجدول التالى :

الزمن (ساعة)	عدد الخلايا	حجم الخلايا	
صفر	1	واحد ميكرومتر مكعب	1 μm^3
$3\frac{1}{3}$	10^3		
$6\frac{2}{3}$	10^6		
10	10^9	واحد ملليمتر مكعب	1 mm^3
20	10^{18}	واحد متر مكعب	1 m^3
30	10^{27}	واحد كيلو متر مكعب	1 km^3
40	10^{36}	الف كيلو متر مكعب	1,000 km^3
50	10^{45}	مليون كليو متر مكعب	1,000,000 km^3

بعد مرور خمسين ساعة من التحضين تصبل الخلايا فى حجمها إلى ما يفوق الكرة الأرضية بأكملها ، ولعل ذلك يوضح مدى كفاءة وإمكانيات النمو الأسى للميكروبات . ولكن من الواضح أن ذلك لايحدث فى الحقيقة حيث لابد وأن يتوقف النمو لسبب أو لآخر مثل نقص الغذاء أو على وجه التحديد نقص أحد العناصر الغذائية



(شكل ٤ – ٢) منحنى نمو المزارع غير المستمرة . يمثل الجزء العلوى من المنحنى أعداد الخلايا والجزء الأسفل معدل النمو . I الطور التمهيدى ، II طور التضاعف الأسى ، III طور السكون ، IV طور الهبوط .



(شكل ٤ – ٣) تضاعف الكائنات الحية الدقيقة الوحيدة الخلية عند ما تكون فترة الجيل عشرين دقيقة حيث يأخذ النمو خطاً مستقيماً عند استخدام رسم بيانى نصف لوغاريتمى (ب)

الأساسية للنمو والتى تستنفد تماما من الوسط الغذائى والذى على أثره يتوقف نمو الخلايا وتدخل فى طور السكون . وقد يكون من الأسباب الأخرى التى تضع حدا لتضاعف الخلايا الأسى تراكم نواتج التمثيل الغذائى السامة . فعلى سبيل المثال تنتج الخمائر الكحول نتيجة لعمليات التخمر التى تقوم بها وعند وصول تركيزه إلى 10% يعمل على إيقاف نمو الخلايا بل موتها أحيانا . والنتيجة العملية لذلك أنه لايمكن إنتاج نبيذ يحتوى على كحول بنسبة تفوق 14% ولرفع نسبة الكحول عن ذلك فلابد من إجراء عمليات التقطير .

٣ – طور السكون : تظل أعداد الخلايا ثابتة خلال هذا الطور والذى قد ينشأ نتيجة للاتزان فيما بين كل من تضاعف الخلايا وموتها الناشىء عن تراكم نواتج التمثيل الغذائى السامة . إلا أن دخول الخلايا فى هذه المرحلة لا يعزى عادة إلى أى من النمو أو الموت وحده . وتتوقف طول فترة هذا الطور على نوعية المسبب الذى يعمل على وقف النمو وكذلك على نوع الميكروب وقد تتفاوت مدته من عدة دقائق إلى ساعات وأيام بل أسابيع .

٤ – طور الهبوط : تبدأ الخلايا فى الموت خلال هذا الطور ونتيجة لذلك يكون هناك فرق كبير بين العدد الكلى للميكروبات وعدد الخلايا الحية (شكل ٤ – ٢) ومع بداية موت الخلايا نجد أنه يحدث لها عملية تحلل وهو ما يطلق علية بعملية التحلل الذاتى . وهذا التحلل الذاتى قد يكون له بعض النتائج الهامه ، فإذا ما تركت المزارع المعملية لتدخل طور الهبوط بحيث يحدث تحلل لنسبة معقوله من الخلايا فإن الخلايا المتبقية قد تصبح قادرة على النمو على نواتج الخلايا المتحللة وهذه الظاهرة تعرف بالوحشية الذاتية . ويستمر هذا النمو لفترة قصيرة ثم تدخل الخلايا فى طور الهبوط ثانية وتتكرر العملية إلى أن تختفى الخلايا جميعها . وبهذه الطريقة نجد أن الخلايا قد تبقى على حالة حية لمدة طويلة ولكن يجب الإشارة إلى أننا بذلك نعمل على انتخاب وانتقاء الخلايا المتبقية فى المزرعة والتى تتميز بأنها لاتتحلل بسهولة أو تلك الأقدر على التغذية على نواتج تحلل الخلايا الأخرى .

المزارع المستمرة للكائنات الحية الدقيقة :

استعرضنا فيما سبق المزارع غير المستمرة للكائنات الحية الدقيقة ، حيث يتم النمو فى وعاء ثابت الأبعاد ثم بعد فترة معينة تتوقف الخلايا عن النمو . ولكن السؤال الذى يطرح

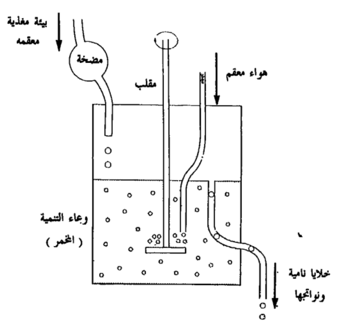
نفسه أليس من الممكن تصميم جهاز يسمح بنمو الخلايا بصورة مستمرة نتيجة لإضافات متجددة من البيئة الغذائية ، والسحب الدائم للخلايا النامية ومنتجاتها ؟ ومن المدهش حقا أنه لم تبدأ أية أبحاث تتعلق بهذا الخصوص حتى الأربعينات من هذا القرن . وقد أحرز الكثير من التقدم فقط عند البحث عن أفضل طرق التنمية لإنتاج خلايا لاستخدامها فى الحرب الميكروبية (أو كما قيل لنا آنذاك للدفاع ضد الحرب الميكروبية) .

ولقد أطلق على مثل هذه الطريقة بالتنمية المستمرة للميكروبات . ويعتبر الكيموستات هو أكثر الأجهزة المستخدمة شيوعا كما هو موضح بالشكل (٤ - ٤) حيث يتميز بالبساطة ، وتعتمد فكرته على ضخ بيئة غذائية باستمرار فى وعاء التنمية ، وذلك بمعدل ثابت فى نفس الوقت الذى تزاح فيه الخلايا ومنتجاتها بمعدل متماثل وذلك مع استمرار التقليب الميكانيكى لمزج البيئة المضافة جيدا مع المزرعة الميكروبية والذى يساعد أيضا على التهوية ، كما قد يزود الجهاز بوحدات لأخذ العينات الدورية وضبط درجة الحموضة والحرارة ، وتضاف مواد تحد من تكون الرغاوى المتزايدة فى المزرعة . ويمكن تنظيم معدل النمو فى مثل هذه الأجهزة بالتحكم فى معدل إضافة البيئة الغذائية مع امكانية التغيير فى مكونات البيئة الغذائية المستخدمة للحصول على مستويات منتظمة ومتوازنة من العناصر الغذائية . وعلى الرغم من الاستخدام الواسع لمزارع الدفعات لتنمية الكائنات الحية الدقيقة فى كل من المعامل والمصانع إلا أن للمزارع المستمرة مميزات فريدة يمكن تلخيصها فيما يلى :

١ - يمكن الحصول على النمو الخلوى طوال الوقت ومن يوم لآخر وذلك فور الدخول بالنمو إلى مرحلة الثبات ، وهذا ما لايمكن تحقيقه بسهولة فى حالة مزارع الدفعات نظرا للتغير السريع فى الظروف البيئية السائدة فى المزرعة وهى الحقيقة التى لايقدرها العديد من المشتغلين فى مجال الميكروبيولوجيا .

٢ - بمجرد انتظام المزرعة المستمرة فى العمل يمكنها الاستمرار فى ذلك لعدة شهور شريطة حفظ الظروف معقمة وذلك إما بمنع حدوث أى تلوث الخارجى أو توفير ظروف مزرعية تحد من نمو الميكروبات غير المرغوب فيها . وقد أدت مثل هذه الميزة مع صغر حجم الجهاز المستخدم بالمقارنة بالأدوات المستخدمة فى تنمية كميات مماثلة من الخلايا بواسطة مزارع الدفعات إلى التوسع فى استخدام طرق التنمية المستمرة بكفاءة فى الصناعة لتنمية الميكروبات أو لإنتاج العديد من نواتجها المختلفة .

٣ – تعتبر التنمية المستمرة أقرب ما يمكن للنمو الميكروبى فى الطبيعة . فعلى سبيل المثال نجد أن كرش الحيوانات المجتره مثال جيد لنظام المزرعة المستمرة (صفحة 148) . ومع ذلك فإنه من المنصف أن ننظر إلى النمو الميكروبى بصفة عامة فى الطبيعة مشتملا على مبادىء كل من التنمية المستمرة ومزارع الدفعات . وعلى هذا فإن نمو البكتريا فى أمعاء الانسان قد تتماثل مع نظامى التنمية فى دفعات والمزارع المستمرة حيث يتوقف ذلك على تكرارية الامداد بالغذاء ، نوعية الغذاء وانتظام عملية الإخراج ، وعموما فإنه يجب دراسة وتحليل كل نظام بيئى فى الطبيعة بناء على الظروف المحيطه به والحيلولة دون تبسيطه والحكم السريع بمطابقته لأى من المزارع المستمرة أو مزارع الدفعات .



(شكل ٤ – ٤) جهاز يستخدم فى التنمية المستمرة للكائنات الحية الدقيقة الهوائية . يحتوى الجهاز على الرغم من عدم وضوح ذلك بالرسم على وحدات للتحكم فى درجة الحرارة والحموضة والحد من الرغاوى المتكونة

النمو الميكروبى المتزامن :

تحتوى المزرعة الميكروبية النامية على خلايا تنقسم فى أوقات مختلفة وغير متماثلة ، ولكن زاد الاهتمام حديثاً بدراسة مراحل دورة النمو للخلية أى معرفة مايتم فى الفترة المحصورة بين كل انقسامين متتالين . ولقد وجد أنه من الصعب استخدام طرق التحليل البيوكيميائية المختلفة فى دراسة خلية ميكروبية واحدة مما يستلزم تتبع ما يحدث من

النواحى الفسيولوجية المختلفة لمزرعة ميكروبية متزامنة حيث تنقسم جميع الخلايا فى وقت واحد تقريبا . وهناك مجموعتان عامتان من الطرق للحصول على المزارع المتزامنه :

١ – **طريقة ضبط طور النمو** : وتعتمد هذه الطرق على التغيير المفاجىء لأحد الظروف البيئية فى المزرعة مثل : درجة الحرارة أو تركيز العناصر الغذائية أو الضوء ، وذلك للعمل على إحداث التزامن للمزارع الميكروبية خلال طور التضاعف الأسى .

٢ – **طرق الانتقاء** : حيث يتم الفصل الميكانيكى فيما بين الخلايا النامية أثناء مرحلة الطور الأسى وذلك عند نقطة معينة أثناء دورة النمو . فعلى سبيل المثال يستخدم الطرد المركزى التفريقى لفصل الخلايا الصغيرة الموجودة فى مزرعة ميكروبية على افتراض أن هذه الخلايا الصغيرة قد خرجت لتوها من عملية الانقسام فى حين تعتمد طرق أخرى على الترشيح أو الادمصاص الانتقائى لبعض الخلايا على أسطح معينة . وتفضل طرق الانتقاء المختلفة على الطريقة السابقة التى تعتمد على اختيار أحد أطوار النمو نظراً لأنها قد تعمل على اضطراب عمليات التمثيل الغذائى بداخل الخلية التى تؤدى بدورها إلى إنتاج خلايا غير طبيعية .

الاحتياجات المختلفة للنمو الميكروبى :

يتضح مما سبق أن النمو الميكروبى قد يكون سريعا للغاية ، وعلى هذا فمن أجل الحفاظ على هذه المعدلات العالية من النمو فإنه يلزم التحكم بدقة فى بعض العوامل البيئية ذات الطبيعة الفيزيائية والكيميائية والعمل على تفهمها بقدر الإمكان . فأول ما يلزم توفره هو المواد الغذائية المناسبة فى الوسط المحيط حيث تمد الكائنات الحية الدقيقة بما يلزمها من الطاقة ومواد البناء ، والتى سوف نتحدث عنها بالتفصيل فى الفصل السابع ، وثانيا لابد وأن تكون الظروف الفيزيائية والكيميائية ملائمة للنمو وتؤخذ فى عين الاعتبار .

المـــاء :

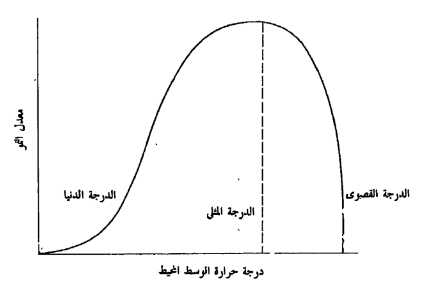
يكون الماء مايزيد عن ٨٠٪ من وزن الخلية الميكروبية ، ويعتبر ضرورى للغاية إذا أخذ فى الاعتبار على أنه عنصر غذائى . هذا بالإضافة إلى أن معظم الكائنات الحية الدقيقة تحصل على غذائها فى صورة ذائبة ، ولو أنه قد توجد بعض الكائنات حقيقية النواة التى يمكنها استخلاص احتياجاتها المائية من الهواء مباشرة كما هو الحال بالنسبة للكائنات

المسئولة عن تحلل وتلف المواد الطبيعية مثل السليولوز والصوف والجلد فى المناطق الاستوائية . ولهذا فإن الأغذية عند تجفيفها يمكنها البقاء لمدد طويلة دون تلف إذا ما حفظت بعيدا عن الهواء الرطب . وقد تم استغلال ذلك كأحدى طرق حفظ الأغذية .

وهنا يلزم التأكيد على أن الظروف البيئية التى تشجع النمو ليس بالضرورة هى نفس الظروف التى تسمح ببقاء الكائنات الحية الدقيقة على حالة حية . وعلى هذا فإن العديد من الكائنات الحية الدقيقة يمكنها البقاء حية ومقاومة الجفاف خاصة إذا ماحدث مثل هذا الجفاف عند درجات الحرارة المنخفضة . فعلى سبيل المثال يمكن حفظ الميكروبات بواسطة طريقة التجفيف عند درجة حرارة التجميد (التجفيد) ، حيث يتم تجميد معلق الخلايا بسرعة ثم يجفف بواسطة تصعيد المياه وتساميها تحت تفريغ كبير . وبمجرد تحمل الميكروب للجفاف فإنه يبقى حيا على هذه الحالة ولفترات طويلة جدا من الزمن .

الحرارة :

تعتبر الحرارة من أهم العوامل البيئية التى تؤثر على معدلات النمو الميكروبى . وكما يوضح الشكل (٤ – ٥) فإن هناك حد ادنى والذى أدناه يتوقف النمو ، ومع ارتفاع درجة الحرارة عن هذا الحد تدريجيا يزداد معدل النمو بما يتمشى مع القوانين العامة التى



(شكل ٤ – ٥) تأثير درجة الحرارة على معدل نمو الكائنات الحية الدقيقة

تنظم تأثير الحرارة على التفاعلات الكيميائية خاصة الانزيمات المسئولة عن النمو . ومع ذلك فإن النمو يصل إلى النقطة التى عندها يكون هناك زيادة شديدة فى معدلات تثبيط مكونات الخلية الحساسة للحرارة مثل الأنزيمات والريبوزومات والحمض النووى DNA وأغشية الخلية . حيث نجد أن ارتفاع الحرارة عن درجة الحرارة المثلى يعمل على التغير السريع فى الصفات الطبيعية لمكونات الخلية مما يؤدى فى نفس الوقت إلى انخفاض معدل النمو .

وتستطيع غالبية الكائنات الحية الدقيقة النمو فى مجال حرارى ينحصر بين 20 -30°. ويبدو أن مكونات الخلية وتمثيلها الغذائى وأجهزة التحكم بها تعمل بكفاءة عند درجات الحرارة هذه ، وذلك على الرغم من الاختلافات الشديدة فى درجات الحرارة الدنيا والمثلى والعظمى . وتنحصر درجة الحرارة المثلى لمعظم الكائنات الحية الدقيقة بين 20 إلى 40 وتطلق على هذه الكائنات الحية الدقيقة اسم وسطية الحرارة فى حين أن الكائنات الأخرى التى تستوطن مناطق باردة كما هو الحال فى القطب الشمالى يمكنها أن تنمو على درجات حرارة أكثر انخفاضا ، وحيث يوجد أعداد كبيرة من الكائنات الحية الدقيقة على السطح فى مثل هذه المناطق الثلجية بحيث قد تعطى نموات خضراء أو حمراء اللون وتعرف مثل هذه الكائنات بالمحبة للبرودة ، وهذه قد تسبب فساد الأغذية المحفوظة فى المبردات على درجات الحرارة المنخفضة فترات طويلة ، على الرغم من عدم إفراز هذه الميكروبات للسموم الغذائية . وهناك مجموعة من الكائنات الحية الدقيقة الأخرى يطلق عليها الكائنات المحبه للحرارة والتى يمكنها المعيشة فى أماكن مثل الينابيع الساخنة أو كومات السماد ، حيث تستطيع هذه الميكروبات النمو على درجات حرارة مرتفعة تصل إلى 80 -90° والتى عندها تموت غالبية الكائنات الحية الأخرى . وغير مفهوم حتى الآن كيفية نمو هذه الميكروبات على درجات الحرارة المرتفعة ـــ خاصة بالنسبة للخلايا الخضرية النامية وليس للجراثيم ـــ حيث تعمل درجات الحرارة المرتفعة على إيقاف نمو ونشاط مكونات الخلية الأساسية . وقد يفسر ذلك بناء على التأثير المزدوج الناشىء عن ثبات مكونات الخلية العديدة وكفاءة جهاز إصلاح مكونات الخلية المتأثرة بدرجات الحرارة المرتفعة .

وهنا يلزم التفرقة بوضوح فيما بين كل من النمو والقدرة على البقاء ، فعلى الرغم من أن غالبية الكائنات الحية الدقيقة تقتل بسرعة على درجات الحرارة التى تتجاوز درجة الحرارة العظمى اللازمة للنمو إلا أنها لاتقتل بالضرورة عند درجات الحرارة المنخفضة

عن درجة الحرارة الدنيا ، ولا شك أن مقدرة الغالبية العظمى من البكتريا على المقاومة والبقاء حيه على درجة حرارة النتروجين السائل تعتبر أكثر الطرق شيوعا فى حفظ المزارع الميكروبية ، حيث يعرض معلق من الخلايا الميكروبية لدرجات الحرارة الشديدة الانخفاض فى حيز معد لذلك .

رقم الحموضة (pH) :

كما هو الحال بالنسبة لدرجة الحرارة نجد أن مجال تركيز أيون الايدروجين الذى يمكن للميكروبات النمو عنده يختلف اختلافا كبيرا على الرغم من أن بعض الأنواع تستطيع النمو فى مجال يشتمل على أربع وحدات كاملة من رقم الحموضة . تنمو غالبية الكائنات الحية الدقيقة عند أرقام حموضة قريبة من التعادل ، حيث تفضل البكتريا الاتجاه قليلا صوب القلوية أما الطحالب والفطريات فتميل إلى الجانب الحامضى . ومع ذلك فهناك بعض الميكروبات التى يمكنها النمو عند أرقام حموضة منخفضة أو مرتفعة للغاية . فعلى سبيل المثال نجد أن بعض أنواع البكتريا التى تحصل على الطاقة اللازمة لها عن طريق أكسدة مركبات الكبريت غير العضوية وتحولها إلى حامض الكبريتيك تستطيع النمو عند رقم حموضة منخفض جدا قريب من الصفر (أى محلول عيارى من حمض الكبريتيك) . وأنواع أخرى من البكتريا التى تصيب المسالك البولية للانسان يمكنها تحليل اليوزيا منتجة الأمونيا التى تعمل على ارتفاع رقم الحموضة حيث تستطيع هذه البكتريا النمو عند pH 11 .

وتستغل عدم مقدرة الغالبية العظمى من الميكروبات النمو عند أرقام حموضة منخفضة (pH 3- 4) فى التصنيع الغذائى كما هو الحال بالنسبة للمخللات التى تعتبر من إحدى طرق حفظ الغذاء الشائعة ، كما أن حامض الخليك فى صورة الخل الذى يضاف للأغذية أو الأحماض التى تنتجها البكتريا بفعل التخمير تعمل على خفض رقم الحموضة .

الأكسجين وجهد الأكسدة الاختزال :

تقسم الكائنات الحية تبعا لاحتياجها للأكسجين إلى ثلاثة مجاميع (جدول ٤ - ١) . وأساس هذه الاختلافات والتمييز فيها بينها يعتمد على طبيعة عمليات إنتاج الطاقة والتى يمكن تلخيصها كما يلى :

١ - تحتاج بعض الكائنات الحية الدقيقة إلى الأكسجين كمستقبل نهائى

للالكترونات أثناء عملية الاكسدة (انظر صفحة 101) . وإذا كانت هذه هى الطريقة الوحيدة التى يحصل بها الميكروب على الطاقة فإن الميكروب يعرف بأنه هوائى حتما ، وتكون النتيجة مماثلة فى حالة تحليل مصادر الكربون والطاقة مثل المركبات الهيدروكربونية التى تحتاج إلى دخول ذرة أكسجين أو أكثر إلى الجزىء .

جدول ٤ - ١ . تأثير الاكسجين على نمو الكائنات الحية الدقيقة

	درجة النمو فى		
	وجود الهواء	تركيز منخفض من الاكسجين	غياب الاكسجين
كائنات هوائية حتما	++++	+	−
كائنات لاهوائية اختيارا	++++ (أو ++)	++	++
كائنات لاهوائية حتما	−	−	++

٢ - إذا ما استطاعت الكائنات الحية الدقيقة الحصول على الطاقة فى غياب وفى وجود الأكسجين فإنه يطلق عليها بأنها لاهوائية اختيارا ، وفى هذه الحالة يفوق النمو تحت الظروف الهوائية ما يحدث تحت الظروف اللاهوائية .

٣ - تقوم الكائنات اللاهوائية حتما بتفاعلات إنتاج الطاقة دون الحاجة للأكسجين والذى يعتبر ساما فى حد ذاته .

وكما هو متوقع نجد أن الميكروبات سواء كانت هوائية أو لاهوائية ترتبط بطبيعة الوسط البيئى الذى تعيش فيه . وعلى هذا فإن البكتريا المنتجة للميثان تعتبر لاهوائية حتما حيث تعيش فى أوساط بيئية مثل مؤخرة القناة الهضمية للحيوانات . ومن ناحية أخرى نجد أن البكتريا المستهلكة للميثان هوائية حتما مما يستلزم وجودها فى أوساط بيئية يتوفر بها الأكسجين بالإضافة إلى الميثان الناتج عن فعل البكتريا المنتجة للميثان الموجودة فى مواقع لاهوائية قريبة منها . ونتيجة لذلك نجد أن البكتريا المنتجة للميثان تعيش فى المناطق السفلى فى حين أن البكتريا المستهلكة له تتواجد فى الطبقات الأعلى .

الضغط الأسموزى :

تستطيع أغلب الميكروبات النمو فى أوساط بيئية ذات مجال واسع من الضغط الاسموزى . وتعزى مقدرة الخلايا الميكروبية على مقاومة الضغوط الاسموزية المنخفضة أما لصلابة جدار الخلية من الناحية الميكانيكية أو لوجود طرق خاصة للتخلص من المياه الزائدة خارج الخلية كما هو الحال بالنسبة للفجوات المنضغطة . إلا أن هناك حد أقصى لمقاومة الضغوط الأسموزية المرتفعة ، ونمو الميكروبات ومعيشتها فى مثل هذه الأوساط البيئية كالبحيرات المالحة والمحيطات لا يتم إلا بواسطة أنواع تسمى بالميكروبات المحبة للضغوط الأسمورية المرتفعة أو المحبة للملوحة . ولكن لاتستطيع الغالبية العظمى من الكائنات الحية الدقيقة النمو فى مثل هذه الظروف لذا يستغل ذلك كإحدى طرق حفظ الأغذية بواسطة إضافة الملح والسكر .

الضغط الهيدروستاتيكى :

يعتبر قاع المحيطات من الأوساط البيئية الطبيعية التى يتواجد بها ضغطاً هيدروستاتيكيا عاليا يعمل على تثبيط نمو غالبية الكائنات الحية الدقيقة ، حيث قد يصل هذا الضغط إلى ما يفوق آلاف المرات الضغوط الموجودة على السطح . ويطلق على الكائنات التى تعيش فى مثل هذه الظروف بالكائنات الحية الدقيقة المحبة للضغوط الهيدروستاتيكية والتى لايعرف عنها الكثير حيث أنها لاتنمو فى ظل الضغوط الجوية العادية ، ويلزم توفر أجهزة معينة لتجميع هذه الميكروبات وعزلها وتنميتها للدراسة .

الإشعاع :

تقتل الغالبية العظمى من الكائنات الحية الدقيقة بفعل الجرعات العالية من الأشعة الكهرومغناطيسية خاصة فى مجال الأشعة فوق بنفسجية أو بفعل الجرعات الصغيرة من الأشعة المؤينة ، ويحدث الموت نتيجة لتدمير جزئيات الحمض النووى DNA . وقد تعزى مقدرة الميكروبات المختلفة على مقاومة التأثير القاتل للإشعاع إلى مدى كفاءة جهاز الإصلاح بالخلية للحمض النووى الذى يتم تدميره .

ويعتبر الضوء العادى ضروريا لنمو الكائنات الحية الدقيقة التى لها القدرة على التمثيل الضوئى حيث أنه يعتبر مصدرا للطاقة ، ومثل هذه الكائنات مزودة بأجهزة معينة تمكنها من التغلب على التأثير الضار لمثل هذه الأشعة .

اعتبارات عامة :

والآن ماهو أهم ما نستخلصه بالنسبة للتأثيرات المتباينة للظروف الفسيولوجية والكيميائية على نمو الميكروبات ؟ والإجابة على ذلك تشتمل على ثلاث نقاط أساسية تطرح نفسها :

١ - إن الميكروبات بأنواعها المختلفة تتميز باتساع مجال الظروف البيئية التى يمكنها النمو فى ظلها . ويعتبر هذا المجال أكثر اتساعا بالنسبة للكائنات الحية البدائية النواة بالمقارنة بالكائنات الأخرى حقيقية النواة كما هو الحال عند مقارنة الكائنات الحية الدقيقة بالخلايا النباتية أو الحيوانية . وقد يرجع اتساع هذا المجال أما إلى أن حساسية أجهزة الخلية أقل أو لمقدرتها الكبيرة على المقاومة والتحكم فى وجود الظروف البيئة المعاكسة .

ويعتبر كلا التفسيرين قائمان . وعلى هذا فإن مقدرة الخلية على النمو فى ظل مجال حرارى واسع لابد وأن يعزى إلى الاختلاف فى درجة حساسيتها فى حين أن النمو عند أرقام حموضة متعددة قد يرجع إلى مقدرة الخلية على تنظيم رقم الحموضة الخاص بالسيتوبلازم وجعله دائما قريبا من درجة التعادل .

٢ - تظهر المملكة الميكروبية بصفة عامة قدرة غير عادية على شغل الأوساط البيئية المعاكسة والبالغة القسوة ويتضح ذلك على وجه الخصوص بالنسبة للكائنات الحية بدائية النواة . فعلى سبيل المثال نجد أن الظروف البيئية البالغة القسوة والسائدة فى البحر الميت أو بالقرب من الينابيع الساخنة لاتحول دون نمو الكائنات الحية الدقيقة بدائية النواة فى نفس الوقت الذى تختفى فيه تماما الكائنات الحية الأخرى حقيقية النواة . وبذلك نجد أن استعمار الكائنات الحية الدقيقة بدائية النواة لمثل هذه الأوساط يتميز بعدم منافسة أى أنواع أخرى من الكائنات الحية فى الحصول على الغذاء . ويفترض أن بساطة تركيب خلايا الكائنات الحية الدقيقة هو الذى يمكنها من التأقلم أو نظرا لمقدرة جهازها الوراثى على التغير والتطور . ومن الناحية الأخرى نجد أن الخلايا حقيقية النواة تعتبر أكثر ملاءمة للتطور فى اتجاه تكوين صور حية أخرى أكثر تخصصا وتعقيدا .

وتعتبر مقدرة الكائنات الحية الدقيقة بدائية النواة فى التأقلم من ناحية الصفات المظهرية أو الوراثية هاما عند استخدامها فى الأبحاث البيولوجية الأساسية ، كما أنها ساعدت على تفهم نظم التحكم فى الخلية كما هيأت للباحثين اختيار كائنات حية ذات صفات وراثية معينة تتمشى مع احتياجاتهم . ولهذا عند الرغبة فى دراسة ميكانيكية

إصلاح الحمض النووى DNA فى الخلية فإنه من المنطقى أن تجرى على إحدى الكائنات الحية التى تتمتع بوجود مثل هذا النظام فى صورة متطورة كما هو الحال بالنسبة للكائنات الحية الدقيقة بدائية النواة بصفة عامة .

٣ – وفى الختام تعتبر دراسة تأثير الوسط المحيط على نمو الميكروبات ذات فائدة بالغة بالنسبة للصناعات الغذائية ، فقد شاهدنا إمكانية استخدام بعض الظروف العاكسة والبالغة القسوة فى حفظ الغذاء وحيث يفضل اختيار الطريقة المستخدمة بناء على نوعية الغذاء المراد حفظه .

نمو الفيروسات :

تختلف الفيروسات اختلافا كبيرا فى طبيعة نموها وتكاثرها عن الكائنات الخلوية ، ونظراً لأنه من الأسهل تفهم ذلك من خلال العلاقه بميكانيكية التمثيل الحيوى للعائل فإننا سوف نتناول ذلك بالتفصيل فى الفصل السادس .

الفصل الخامس

التمثيل الغذائى وتغذية الكائنات الحية الدقيقة

من أهم خصائص الكائنات الحية الدقيقة ارتفاع معدلات نموها ، حيث تبلغ مدة الجيل للكثير منها ما يقل عن ٣٠ دقيقة ، مما يسلتزم مقدرة فائقة على تخليق مكونات خلاياها خلال هذه الفترة الوجيزة . ولكى يتم ذلك لابد وأن يقابله حدوث عمليات التمثيل الغذائى بمعدلات مرتفعة جدا . وفى الواقع توجد علاقة عكسية بين معدلات التمثيل الغذائى أو النمو وحجم الكائن الحى ، فإذا ما أخذنا على سبيل المثال معدل استهلاك الأكسجين بالنسبة لوحدة الكتلة الحية كمقياس لإنتاج الطاقة بواسطة الكائنات الهوائية ، واعتبر الإنسان كوحدة واحدة للمقارنة فإننا نحصل على المستويات التالية :

الفيل	الانسان	الفأر	الكائنات الحية الدقيقة	
			حقيقية النواة	بدائية النواة
0. 2	1. 0	10	100	1000

والسؤال الآن هو كيفية الوصول إلى هذه المعدلات المرتفعة من التمثيل الغذائى الميكروبى ؟ من أهم العوامل المحددة لهذا امتصاص العناصر الغذائية والتخلص من المخلفات الناتجة حيث تتم كل منهما على سطح الخلية . وكلما صغر حجم الكائن الحى

كلما ازدادت نسبة مساحة السطح إلى الحجم أو الكتلة الحية ؛ مما يساعد على ارتفاع معدلات التمثيل الغذائى ، ويمكن توضيح ذلك بالمثالين التاليين :

(أ) فى حالة انسان وزنة 220 رطل

$$\frac{\text{مساحة السطح}}{\text{الكتلة}} = \frac{24000 \text{ سم}^2}{10\ 000 \text{ جم}} = 2.4 \text{ سم}^2 / \text{جم}$$

(ب) فى حالة خلية بكتيرية نموذجية

$$\frac{\text{مساحة السطح}}{\text{الكتلة}} = \frac{1 \times 10^{-7} \text{ سم}^2}{2 \times 10^{-12} \text{ جم}} = 50000 \text{ سم}^2 / \text{جم}$$

وبطبيعة الحال نجد أن الكائنات الحية الراقية مزودة ببعض الأجهزة المتخصصة ، والتى تعمل على ازدياد مساحة السطح مثل الأمعاء ، الرئه ، الكلية ، الدورة الدموية ولكننا نجد أن الكائنات الحية الدقيقة تتمتع بصغر حجمها كما أنها تعمل على زيادة مساحة سطحها بدرجة كبيرة عن طريق الانغمادات والانثناءات فى الغشاء السيتوبلازمى (صفحة 31) .

ولم يعرف الكثير عن التمثيل الغذائى الميكروبى إلا حديثا وذلك لعدة أسباب منها : أن المشتغلين فى مجال الميكروبيولوجيا فى الأربعينات من هذا القرن كانوا يجهلون الكثير عن الكيمياء الحيوية ، وكذلك لعدم إلمام الباحثين فى مجال الكيمياء الحيوية آنذاك بعلم الميكروبيولوجيا ، والسبب الآخر هو صعوبة الحصول على مستخلص الخلايا البكتيرية والخالى من الخلايا ذاتها ، وذلك لصغر حجم الخلايا ، أو لصلابة جدار الخلايا وحيث يصعب دراسة مسارات التمثيل الغذائى المختلفة فى الخلايا الميكروبية نفسها ، ولكن بعد ذلك تغيرت الظروف تدريجيا حيث حدث تقدم ملحوظا فى مجالات البيولوجى المختلفة بالإضافة إلى إمكانية التوصل إلى العديد من الطرق المستخدمة فى تكسير الخلايا الميكروبية مع حدوث أقل الأضرار الممكنة بالنسبة للنشاط الحيوى لمكونات الخلية . وعندئذ تيقن علماء البيولوجى أن الكائنات الحية الدقيقة تعتبر من أكثر الكائنات الحية ملاءمة لدراسة المبادىء الأساسية فى مجال الكيمياء الحيوية والبيولوجيا الجزيئية ، فنحن الآن نعرف الكثير عن بيوكيميائية بكتريا **Escherichia coli** بدرجة تفوق ما نعرفه عن أى من الكائنات الحية الأخرى .

التركيب الكيميائى للكائنات الحية الدقيقة :

قبل أن نعرض للتمثيل الغذائى الميكروبى فإنه يبدو ضروريا التعرف على النواتج النهائية لهذا التمثيل ، أى معرفة المكونات الكيميائية التى تتكون منها الخلية الميكروبية والتى يوضحها جدول ١ – ٥ . فى نفس الوقت لابد وأن ندرك بوضوح أن هناك اختلافات كبيرة فى التركيب الكيميائى بين المجاميع المختلفة من الكائنات الحية الدقيقة ، بل توجد اختلافات فيما بين خلايا الكائن الحى الواحد عند نموه تحت ظروف بيئية مختلفة . وفيما يلى أمثلة لبعض هذه الاختلافات .

جدول ١ – ٥ المكونات الأساسية لخلية ميكروبية نموذجية
(كنسبة مئوية من الوزن الجاف)

	البروتين	الأحماض النووية	السكريات العديدة	الليبيدات	السكريات الببتيدية	مركبات أخرى
الكائنات الحية بدائية النواة	50	10	10	10	10	10
الكائنات الحية حقيقية النواة	0د	5	15	15	-	15
الوحدات البنائية المكونة للمركبات المبلمرة	أحماض أمينية	نيوكليتيدات	سكريات آحادية	—	أحماض أمينية سكريات آحادية	

(أ) بالنسبة لمعظم الكائنات الحية الدقيقة : يزداد محتواها من الحمض النووى RNA بازدياد معدل النمو (صفحة 33) ونظراً لأن الكائنات بدائية النواة أسرع نمواً بصفة عامة من الكائنات حقيقية النواة ، فإن هذا ينعكس على ازدياد محتوى خلايا الكائنات الحية الأولى من الحمض النووى RNA .

(ب) تحتوى البكتريا السالبة لجرام على كميات أكبر من الليبيدات وأقل من السكريات الببتيدية بالمقارنة بالبكتريا الموجبة لجرام نظرا للاختلاف بينهما من حيث تركيب جدار الخلية .

(جـ) عادة ماتحتوى الخلايا النامية فى وجود المزيد من مصادر الكربون والطاقة على مواد مخزنة بكميات كبيرة ؛ مثل الليبيدات والسكريات العديدة (صفحة 38) .

وبالنظر الى جدول ١- ٥ نلاحظ أن المركبات المبلمرة ذات الوزن الجزيئى الكبير تكون ما يعادل ٧٠ - ٨٠٪ من وزن الخلية الجاف ، فى حين أن الباقى تشغله الليبيدات والمركبات صغيرة الوزن الجزيئى ، مثل نواتج التمثيل الغذائى والمرافقات الأنزيمية والأيونات غير العضوية . ومما يلفت الانتباه عدم وجود تباين كبير بين الكائنات الحية المختلفة بخصوص هذه المكونات ، حيث تشتمل جميعها عموما على الأحماض الأمينية المكونة للبروتينات والنيوكلوتيدات المكونة للأحماض النووية والعديد من أنواع الليبيدات وأغلب المرافقات الأنزيمية . وبالرغم من وجود اختلافات أساسية فى الطرق المستخدمة بواسطة الكائنات الحية للحصول على الطاقة والوحدات البنائية اللازمة للنمو وكذلك بالنسبة لمقدرة كل من هذه الكائنات الحية فى عملية التخليق الحيوى ، إلا أن هناك شبه اتفاق بين الكائنات الحية المختلفة فيما يتعلق بميكانيكية عملية التخليق الحيوى ، وبالنسبة للنواتج النهائية المكونة للخلية .

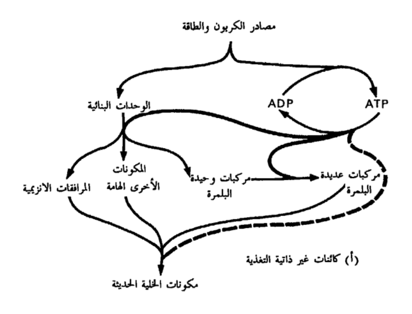
لهذا فإن عمليات التمثيل الغذائى بالخلية لابد وأن توجه لتخليق المكونات التالية :

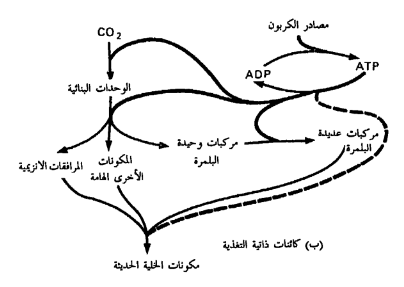
20	حمض أمينى (من النوع L)
2- 4	حمض أمينى خاص بتكوين الببتيدوجليكان (فى الكائنات البدائية النواة)
5	قواعد بيورين وبيريميدين
حوالى 10	سكريات آحادية
حوالى 10	ليبيدات
حوالى 20	مرافق إنزيم

ومجموعة مختلفة من المركبات الأساسية الأخرى .

ويبلغ الحد الأدنى لعدد المركبات العضوية التى يلزم تخليقها بواسطة الخلية أو الحصول عليها من الوسط المحيط لأهميتها كوحدات بنائية أساسية أو كمكونات للخلية ما يقرب من 200 -100 مركب . وتستطيع الغالبية العظمى من الكائنات الحية الدقيقة تخليق هذه المركبات ذاتياً حيث يمكن تلخيص خطوات تمثيلها غذائياً كما يلى :

١- إمداد الخلية بواسطة الطاقة اللازمة على هيئة مركبات غنية فى الطاقة فى صورة (ATP) وذلك بتكوينها من ADP (أو من AMP ولو أننا سوف نناقش تكونها من ADP هنا فقط للسهولة) .





شكل ١ – ٥ الخطوات الرئيسية لعملية التمثيل الغذائى فى الكائنات غير ذاتية التغذية (أ) ، الكائنات ذاتية التغذية (ب) .

٢ ــ تتكون الوحدات البنائية الأساسية من مصادر الكربون الموجودة فى الوسط المحيط ، وتبعا لذلك تقسم الكائنات الحية عادة إلى مجموعتين رئيسيتين هما الكائنات غير ذاتية التغذية والكائنات ذاتيه التغذية.فبالنسبة للكائنات الغير ذاتية التغذية نجدها تحصل على كل من الكربون والطاقة من نفس المادة الغذائية التى تنمو عليها ، حيث تقوم بتحليلها للحصول على كل من الطاقة والوحدات البنائية اللازمة . أما فى حالة الكائنات

ذاتية التغذية فإنها لاتحصل على الطاقة اللازمة لها من عمليات انحلال المواد العضوية أثناء تمثيلها الغذائى كما أن مصدر الطاقة يختلف عن مصدر الكربون الذى تحصل عليه من CO_2 فى الجو . وعلى الرغم من أن مثل هذه التفرقة قد تكون واضحة بالنسبة للنباتات (كائنات ذاتية التغذية) والحيوانات (كائنات غير ذاتية التغذية) ، والعديد من الكائنات الحية الدقيقة (سواء كانت ذاتية أو غير ذاتية التغذية) فهناك بعض الكائنات الحية الدقيقة التى تكون التفرقة فيما بينها صعبة ؛ حيث أن البعض منها قد يعيش معيشة ذاتية أو غير ذاتية فى نفس الوقت (كائنات ذاتية التغذية اختيارا) ، وقد تجتمع فى البعض الآخر من هذه الكائنات بعض الخصائص المميزة لكل من الكائنات الذاتية وغير ذاتية التغذية .

٣ – تحويل هذه الوحدات البنائية إلى مركبات وحيدة البلمرة ومرافقات إنزيميه وغيرها من مكونات الخلية التى سبق الحديث عنها .

٤ – تكون المركبات عديدة البلمرة .

٥ – تكون المركبات عديدة البلمرة ذات التركيب رباعى الاتجاهات مع غيرها من المكونات الضرورية الأخرى وانتقالها إلى أماكنها الخاصة بالخلية حيث تكون التراكيب الأساسية اللازمة لوظائف الخلية الطبيعية .

ويلخص الشكل ١ – ٥ هذه العمليات المختلفة .

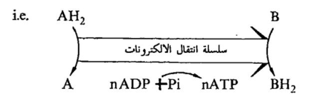
والآن دعنا نعرض بشىء من التفصيل لمراحل التمثيل الغذائى المختلفة مع التركيز بصفة خاصة على الاختلافات الناشئة فيما بين الكائنات الحية الدقيقة .

إنتاج الطاقة

الكائنات الحية غير ذاتية التغذية :

تعتبر غالبية الكائنات الحية الدقيقة غير ذاتية التغذية حيث تحصل على الطاقة اللازمة لها من خلال طريقتين للفسفرة أثناء الانحلال الكيميائى للمواد العضوية المستخدمة كمصدر للكربون والطاقة والموجودة فى الوسط المحيط . والعملية الأولى هى عملية الفسفره على مستوى مادة التفاعل والتى يتم خلالها تحلل المادة العضوية بواسطة بعض

التفاعلات التى تعمل على إنتاج الطاقة وانطلاقها على هيئة روابط فوسفاتية غنية فى الطاقة ترتبط باحدى المركبات حيث يتم نقلها بعد ذلك إلى مركب ADP ليعطى فى النهاية ATP . أما فى حالة الفسفرة التأكسدية فإنه يتم أكسدة إحدى المركبات المعطية للاكترونات ، وحيث تنتقل الالكترونات الناتجة عن عملية الأكسدة (تنطلق عادة فى أزواج) عبر سلسلة انتقال الالكترونات والتى يستقبلها فى النهاية مستقبل للاكترونات (B) وذلك بطريقة تسمح باستخدام الطاقة الناتجة فى تكوين مركب ATP من مركب ADP .

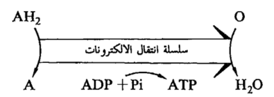


$$\text{or } AH_2 + B + nADP + nPi \longrightarrow A + BH_2 + nATP$$

وتمثل (n) عدد الروابط الغنيـة بالطاقة والناتجة عن انتقال ازواج الالكترونات عبر سلسلة انتقال الاكترونات والتى قد تصل فى عددها 1 ، 2أو 3 ، ويعتمد هذا الرقم على الطاقة الناتجة من عملية أكسدة المركب AH_2 وذلك على حساب المركب B ، وبالتالى مدى اختلاف جهد الأكسدة والاختزال لكل من النظام $A \leftrightharpoons AH_2$ والنظام $BH_2 \leftrightharpoons B$ ونظريا نجد أن زيادة هذا الاختلاف يعمل على زيادة كمية ATP المنتجة .

وعموما توجد ثلاثة طرق يتم بواسطتها انحلال مصدر الكربون والطاقة لانتاج مركبات الطاقة :

١ - **التنفس الهوائى** : يتم بواسطة هذه العملية انحلال مصدر الكربون والطاقة بواسطة سلسلة من التفاعلات المتتالية ، وحيث تتم عملية الأكسدة على حساب الأكسجين الذى يستخدم كمستقبل نهائى للاكترونات .



وتنتج أكبر كمية من الطاقة فى عملية التنفس الهوائى من خلال عملية الفسفرة التأكسدية على الرغم من الاختلافات فيما بين الكائنات الحية الدقيقة من حيث مدى تعقيد سلسلة انتقال الالكترونات فى الميكروبات المختلفة . فمثلا نجد أن خلايا الخميرة تنقل الطاقة عبر مجموعة من المركبات الحاملة لها والموجودة فى الميتوكندريا ؛ والتى تماثل المركبات الموجودة فى الحيوانات الراقية ، فى حين أن البكتريا تحتوى على عدد أقل من مركبات السيتوكروم مما يعكس بساطة سلسلة نقل الالكترونات وبالتالى عدد أقل من مراحل الفسفرة . والمثال التقليدى فى هذا الخصوص هو الأكسدة الكاملة للجلوكوز الى CO_2 وذلك خلال مسار من التفاعلات الكيميائية يعتبر شائعا فى كل الميكروبات والنباتات والحيوانات ؛ حيث يتحول الجلوكوز بواسطة المسار الجليكوولى إلى حمض البيروفيك الذى يؤكسد بعد ذلك إلى CO_2 بواسطة دورة الأحماض ثلاثية الكربوكسيل ، وحيث تتكون الغالبية العظمى من مركب ATP بواسطة الفسفرة التأكسدية ، وبافتراض تكون ٣ روابط فوسفاتية غنية فى الطاقة نتيجة لكل خطوة من خطوات سلسلة انتقال الالكترونات ، نجد أنه يمكن تمثيل إجمالى عملية الأكسدة بالتفاعل التالى :

$$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 + 38\ ADP + 38\ Pi \rightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O + 38\ ATP$$

وعلى الرغم من أن CO_2 يعتبر من أكثر النواتج النهائية شيوعا لعملية أكسدة مصادر الكربون والطاقة ، فان بعض الكائنات الحية الدقيقة قد تقوم بعملية أكسدة غير كاملة وذلك كما هو الحال بالنسبة لبعض الفطريات التى تنتج حمض الأكساليك .

$$C_6H_{12}O_6 + 4.5\ O_2 \rightarrow 3\ (COOH)_2 + 3\ H_2O$$

٢ – **التنفس اللاهوائى** : على الرغم من أن الأكسجين يعتبر أكثر مستقبلات الالكترونات كفاءة وشيوعا إلا أن هناك بعض الكائنات الحية بدائية النواة التى يمكنها أستخدام بعض المركبات الغير عضوية كمستقبلات للاكترونات وذلك خلال عملية تسمى عن طريق الخطأ بعملية التنفس اللاهوائى حيث تختزل النترات إلى أمونيا وأكسيد النيتروز إلى النتروجين الغازى والكبريتات إلى الكبريتيد وثانى أكسيد الكربون إلى الميثان كما هو موضح فيما يلى :

AH_2 → سلسلة انتقال الالكترونات → NO_3 or SO_4^{2+} or CO_2

A $ADP + Pi$ → ATP NH_3, N_2, N_2O , H_2S , CH_4

وهنا يجب ملاحظة النقاط التالية :

(أ) تطابق مسارى انحلال مصدر الكربون والطاقة بواسطة عمليتى التنفس الهوائى واللاهوائى ، والاختلاف الوحيد هو مصير الالكترونات الناتجة من عملية الأكسدة .

(ب) تتوقف كمية ATP الناتجة خلال انتقال أزواج الالكترونات عبر سلسلة انتقال الالكترونات على الاختلاف فى جهد الأكسدة والاختزال بين كل من معطى ومستقبل الالكترونات ، وحيث أن مثل هذه المركبات غير العضوية المستقبله للالكترونات ذات جهد أكسدة واختزال أكبر من الأكسجين فإن كميات أقل من ATP تنتج فى حالة التنفس اللاهوائى عنه بالنسبة للتنفس الهوائى .

(جـ) يلعب التنفس اللاهوائى دوراً هاماً فى المحافظة على استمرارية دورة العناصر فى الأوساط البيئية الطبيعية (انظر الفصل التاسع) .

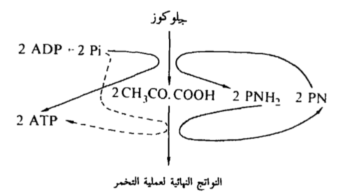
٣ - **التخمر** : لاتحتاج عملية التخمر إلى مستقبل خارجى للالكترونات حيث تتم عملية انحلال مصدر الكربون والطاقة على مراحل بواسطة مجموعة من التفاعلات تعمل على انطلاق الطاقة بواسطة عملية الفسفرة غير الهوائية على مستوى مادة التفاعل وعلى الرغم من حدوث كل من عمليات الأكسدة والاختزال فإنه لابد وأن تحدث بدرجة متوازنة بحيث تكون متوسط حالة الأكسدة التى تكون عليها المركبات الناتجة تعادل تقريبا الحالة التى عليها مادة التفاعل ذاتها .

وإذا أخذنا فى الاعتبار تخمر الجلوكوز فإن معظم الكائنات الحية الدقيقة تستخدم مسار التفاعلات الجليكولية فى المهاجمة الأولية للمادة العضوية منتجة حمض البيروفيك .

بمعنى

$$C_6H_{12}O_6 + 2\ PN + 2\ ADP + 2\ Pi \rightarrow 2\ CH_3CO.COOH + 2\ PNH_2 + 2\ ATP$$

(حيث PNH + PN تعتبر الصورة المؤكسده والمختزلة لنيوكليتيدات البيريدين) ولاستمرار عملية التخمر لابد من إعادة أكسدة مركب البيريدين المختزل (عادة مركب $NADH_2$) بحيث قد تنتج أو لاتنتج طاقة عن مثل هذه العملية .



وهناك مجموعة متباينة من النواتج النهائية لعملية التخمر ، ولكننا سوف نذكر اثنين منهما فقط :

– تكون حمض اللاكتيك نتيجة لاختزال حمص البيروفيك بواسطة بكتريا حمض اللاكتيك

$$2\ CH_3CO.COOH + 2\ PNH_2 \rightarrow 2\ CH_2CHOH.COOH + 2\ PN$$

وتكون النتيجة النهائية كما يلى :

$$C_6H_{12}O_6 + 2\ ADP + 2\ Pi \rightarrow 2\ CH_3CHOH.COOH + 2\ ATP$$

– تقوم الخميرة بعملية التخمر الكحولى الذى يعتبر أكثر تعقيدا نسبيا

$$2\ CH_3CO.COOH \rightarrow 2\ CH_3CHO + 2\ CO_2$$
$$2\ CH_3CHO + 2\ PNH_2 \rightarrow 2\ CH_3CH_2OH + 2\ PN$$

والنتيجة النهائية تكون كحول الايثانول ، CO_2 .

$$C_6H_{12}O_6 + 2\ ADP + 2\ Pi \rightarrow 2\ CH_3CH_2OH + 2\ CO_2 + 2\ ATP$$

وهذان مثالان فقط للعديد من النواتج النهائية للتخمر فى الميكروبات ، ويعتبر طبيعية هذه النواتج النهائية عاملاً هاماً فى تصنيف هذه الكائنات كما أن لكثير منها أهمية صناعية كبيرة . ويعتبر نمو الميكروبات لاهوائيا من خلال التخمر أقل كفاءة مقارنة بالتنفس الهوائى بحيث لايتعدى ناتج نمو الخلايا لكل وحدة جلوكوز عُشْر الناتج من التنفس الهوائى ، وهذا المعدل أقل من مدى الاختلاف فى معدل تكوين ATP لكل جزىء جلوكوز يتم اكسدته أو تخمره (انظر ماقبله) وذلك نظرا لأن الجزء الأكبر من الجلوكوز يتم تمثيله لتكوين مركبات الخلية فى التنفس الهوائى مقارنه بالنمو اللاهوائى .

الكائنات الحيه ذاتية التغذية :

تشتمل هذه الكائنات على مجموعتين أساسيتين وذلك تبعا لطريقة إنتاج الطاقة .

١ – الكائنات ذاتية التغذية الكيميائية :

وتحصل هذه الكائنات على الطاقة اللازمة لها من أكسدة المواد غير عضوية ؛ مع استخدام الأكسجين كمستقبل نهائى للاكترونات ويتكون ATP بواسطة الفسفرة التأكسدية ، والاختلاف الرئيسى فى طريقة تكوينه عن مايحدث فى الكائنات غير ذاتية التغذية هو أن معطى الالكترونات يكون مركبا غير عضوى ، ويوضح جدول(٥ ـــ ٢) بعض أمثلة الميكروبات الهامة فى هذا الشأن .

جدول (٥ – ٢) المركبات المانحه للالكترونات ونواتج أكسدتها بواسطة تفاعلات الحصول على الطاقة التى تقوم بها بعض مجاميع البكتريا ذاتية التغذية الكيميائية .

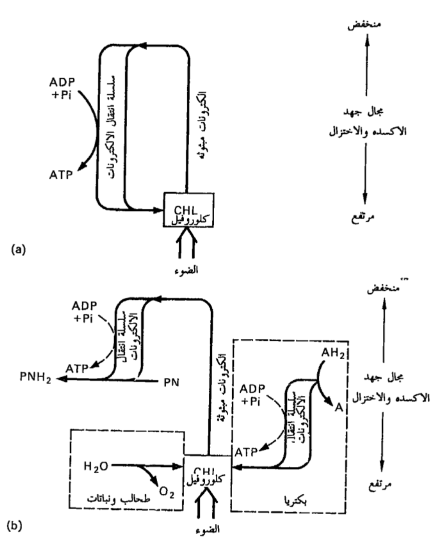
المجاميع البكتيرية المختلفة	معطى الالكترونات والناتج النهائى
بكتريا التأزت	$NH_3 \longrightarrow NO_2$ $NO_2 \longrightarrow NO_3$
بكتريا الكبريت	$H_2S \longrightarrow S$ $S \longrightarrow SO_4^{2-}$
بكتريا الهيدروجين	$H_2 \longrightarrow H_2O$
بكتريا الميثان	$CH_4 \longrightarrow CO_2$
بكتريا الحديد	$Fe^{2+} \longrightarrow Fe^{3+}$

وتعتبر هذه المجاميع البكتيرية ذاتية التغذية الكيميائية ذات أهمية اقتصادية كبيرة ، ومنها على سبيل المثال ميكروب Thiobacillus thiooxidans الذى يستخدم كمثل لوحدة مبادىء الكيمياء الحيوية فيما بين الكائنات الحية عموما ، حيث يحصل على الكربون من CO_2 وعلى الطاقة من أكسدة مركبات الكبريت غير العضوية إلى حمض الكبريتيك ، كما أنه يمكنه النمو عند رقم حموضة منخفض جدا أقل من pH 1.0 ولا تستطيع النمو فى وجود مواد غذائية عضوية مثل الجلوكوز الذى يعمل على تثبيطه . ومع ذلك فانه لم يلاحظ وجود اختلاف فى ميكانيكية إنتاج الطاقة (ATP) والاختلاف الوحيد هو أن المادة المانحة للالكترونات أثناء عملية الفسفرة التأكسدية عبارة عن مركبات الكبريت غير العضوية ، كما أن عمليات التمثيل الغذائى الوسطيه تختلف اختلافا قليلا عن غيرها من الكائنات ذاتية التغذية التى تستخدم CO_2 كمصدر وحيد للكربون . ومن سوء حظ العلماء ولحسن حظ الطلاب لابد وأن نقوم بزيارة الكواكب البعيدة قبل أن نعثر على نوع غير تقليدى من الكيمياء الحيوية ، ومع هذا فإن هناك بعض علماء الكيمياء الحيوية الذين يعتقدون فى حتمية نشوء كائنات حيه شبيهة بكائناتنا الحية فى مثل هذه الكواكب .

٢ – كائنات ذاتية التغذية الضوئية :

تحصل هذه الكائنات على الطاقة اللازمة لها أساساً من عملية الفسفرة الضوئية ، والتى تعتمد أساسا على استثارة جزئيات الكلوروفيل بواسطة الضوء مما يؤدى إلى بث الكترونات غنيه فى الطاقة تعمل على اختزال بعض المركبات التى لها جهد أكسدة واختزال منخفض والتى بعد ذلك يمكن أكسدتها خلال نظام معين لانتقال الالكترونات يؤدى فى النهاية إلى إنتاج جزئيات ATP بطريقة مماثلة لعملية الفسفرة التأكسدية وينتج عن ذلك عودة الالكترونات مرة ثانية إلى جزىء الكلوروفيل . وبالرغم من عدم توفر أية معلومات كثيرة عن المواد الحاملة للالكترونات إلا أن هذه العملية التى تسمى بالفسفرة الضوئية الدورية تتماثل تماما فى جميع الكائنات ذاتية التغذية الضوئية (شكل ٥ – ٢) ولو أنها تختلف فى طبيعة الصبغات المسئولة (كلوروفيلات – كاروتينات) وكذلك بالنسبة لبعض خصائص عملية الفسفرة الضوئية غير الدورية ، والتى يتم فيها استخدام المركب المختزل ذو جهد الأكسدة والاختزال المنخفض الناتج بفعل الالكترونات المبثوثة من الكلوروفيل فى اختزال نيوكليتيدات البيريدين من خلال سلسلة تنفسيه مختصرة . وتعود الالكترونات مرة أخرى إلى الكلوروفيل بواسطة مركب

خارجى مانح الالكترونات ، والذى يميز عملية التمثيل الضوئى فى البكتريا عنه بالنسبة للطحالب والنباتات الخضراء ، فبالنسبة للكائنات الأخيرة يستخدم الماء كمعطى للالكترونات ويتصاعد O_2 أما بالنسبة للبكتيريا فتستخدم مركبات خارجية (AH_2) معطية للالكترونات مثل مركبات الكبريت غير العضوية ، مواد عضوية أو غاز الهيدروجين مما يؤدى إلى عدم تصاعد O_2 (انظر شكل ٥ – ٢) . وهنا يجدر ملاحظة أن الفسفرة الضوئية غير الدورية تنتج نيوكلوتيدات ببريدين مختزلة بالإضافة إلى ATP والتى تعتبر كميزة هامة إذا ما أخذ فى الاعتبار التمثيل الحادث لغاز CO_2 (انظر صفحة 109) .



(شكل ٥ – ٢) تخطيط مبسط لعملية الفسفرة الضوئية الدورية (أ) وغير الدورية (ب)

مما سبق يتضح جليا أن لدى الكائنات الحية الدقيقة طرق مختلفة للحصول على الطاقة والذى ينعكس على تعدد الأوساط البيئية التى يمكنها أن تنمو فيها وتستعمرها .

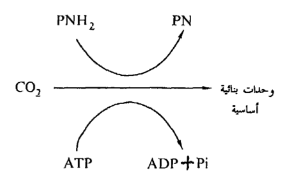
تكوين الوحدات البنائية الأساسية :

تعمل الكائنات الحية غير ذاتية التغذية على انحلال مصدر الكربون والطاقة ، وذلك من خلال سلسلة من التفاعلات التى تعمل على تزويد الخلايا بنواتج أساسيه للتمثيل تستخدم كوحدات بنائية أساسية لتخليق ما بين 200 -100 من المركبات وحيدة البلمرة والمرافقات الأنزيمية ووحدات البناء الأساسية للخلية . ونواتج التمثيل الوسطيه الأساسية هذه تتضمن السكريات الفوسفاتيه ، البيروفات ، الفوسفو جليسرات ، الخلات ، الاكزال خلات ، السكسينات ، الألفاكيتوجلوتاريت . وتتواجد الأنزيمات المحفزة لهذه التحولات والتى منها مسار تفاعلات الانحلال الجليكولى ودورة الأحماض الثلاثية الكربوكسيل دائما فى جميع الأحياء الخلوية والتى يتم إنتاجها بغض النظر عن الظروف البيئية المحيطة . وسوف نشير إلى هذه التفاعلات فى مجملها على أنها تكون « نظام التمثيل الوسطى الأساسى » . ومن أهم وظائف هذه الأنزيمات فى الكائنات غير ذاتية التغذية إنتاج الطاقة وتخليق الوحدات البنائية الأساسية فى الخلية . أما بالنسبة للكائنات ذاتية التغذية فنظرا لأن غاز CO_2 هو المصدر الوحيد للكربون فإن دور هذه الأنزيمات يكون تخليق وحدات البناء الأساسية . ويطلق على مثل هذه الأنزيمات ومسارات التفاعلات التى تعتبر مسئولة عن عملية البناء والهدم بالأنزيمات الأمفيبوليه ، والتى تتواجد دائما فى الخلية دون اعتبار للظروف البيئية المحيطة ، بمعنى أنها أنزيمات تكوينية ، ومن أهمها الأنزيمات المتخصصة فى استخدام مصادر الكربون والطاقة .

(شكل ٥ ـــ ٣) رسم تخطيطى للانزيمات المسئولة عن تحولات مصادر الكربون والطاقة (A, B, C, D) إلى مركبات وحيدة البلمرة ومرافقات إنزيمية (W, X, Y, Z) ضرورية النمو .

وحيث أن العديد من الكائنات الحية غير ذاتية التغذية تستطيع استخدام مئات من مصادر الكربون والطاقة ونظرا لاستخدام العديد من الأنزيمات المتخصصة لكل مسار من مسارات التفاعلات الكيميائية المختلفة ، فإن هذا يستلزم أن يكون للخلية المقدرة على إنتاج أعداد كبيرة جدا من الأنزيمات الخاصة بالتمثيل الغذائى . وعموما تتكون هذه الانزيمات فقط عند الحاجة إليها ، أى عند تواجد مصدر الكربون والطاقة المناسبة فى الوسط المحيط ، ولذا يطلق على هذه الأنزيمات بالأنزيمات المستحثة والتى لاتوجد بالخلية إلا عند توفر مصدر الكربون والطاقة المسئول فى محيط الخلية . ومنها على سبيل المثال أنزيم الفاجلوكوزيديز (المالتيز) الذى يستحثه وجود سكر المالتوز . وكما يوضح الشكل (٥ - ٣) نجد أن المادة A تستحث تخليق مجموعة أنزيمات $A_1, A_2, A_3, A_4,$ والمادة B تستحث انزيمات $B_1, B_2 \; B_3 \; B_4$ وهكذا .

يعتبر غاز CO_2 مصدر الكربون للكائنات ذاتية التغذية حيث يتم تحويله الى نواتج تمثيل غذائى وسطية خلال سلسلة من التفاعلات (دورة كالفين) التى تعتبر شائعة الوجود فى جميع الكائنات الحية الذاتية التغذية سواء كانت ذاتية التغذية الكيميائية أو الضوئية ويلزم لحدوث هذا التحول طاقة على هيئة ATP وقوة مختزلة مثل نيوكليتيدات البيريدين المختزلة .



ولقد تم فى الجزء الأول من هذا الفصل مناقشة ميكانيكية تخليق مركب بواسطة الكائنات ذاتية التغذية وتفاعلات إنتاج القوة المختزلة بواسطة عملية التمثيل الضوئى (صفحة 107) أما فى الكائنات الذاتية التغذية الكيميائية فإن الالكترونات اللازمة لعملية اختزال نيوكلوتيدات البيريدين تأتى عن طريق المركبات غير العضوية المانحة للالكترونات ، والتى تعتبر فى نفس الوقت مصدرا للطاقة .

تكوين المركبات وحيدة البلمرة والمرافقات الانزيمية :

تنشط إثر عمليات التمثيل الغذائى الوسطية سلسلة من مسارات التفاعلات الكيميائية مسئولة عن تخليق المركبات وحيدة البلمرة والمرافقات الانزيمية وغيرها من المركبات اللازمة للنمو . وتوجد هناك اختلافات جوهرية فيما بين الكائنات الحية الدقيقة بالنسبة لمدى تعقيد مسارات التمثيل الغذائى بالخلية . وتنعكس هذه الاختلافات على المواد الغذائية اللازمة للنمو (انظر صفحة 113) . فعند نمو ميكروب ما فى وسط بيئى يحتوى على إحدى النواتج النهائية لأحد مسارات التمثيل الغذائى (كما هو الحال بالنسبة للمركب W فى الشكل ٥ – ٢) فإن ذلك يعد ميزة واضحة بالنسبة لاقتصاديات الخلية التى لاتعمل عندئذ على تكوين هذا المركب ، وحيث نجد أن الأنزيمات W_1, W_2, W_3، المسؤولة عن خطوات البناء غير نشطة بل ويفضل عدم تكونها بالمرة ويتم بإحدى الطريقتين التاليتين :

١ – يثبط المركب W الانزيم الأول المسئول فى مسار التمثيل (W_1) وهذا ما يطلق عليه بعملية التثبيط الرجعى .

٢ – يعمل المركب W على تثبيط جميع الأنزيمات المسئولة عن عملية تمثيله (أى الانزيمات W_1, W_2, W_3) حيث تسمى بالأنزيمات المكبوتة ويطلق على العملية ذاتها عملية الكبت . وتعتبر عمليتى الحث والكبت من أهم وسائل التحكم التى تعتمد عليها الخلية فى كفاحها للبقاء ، حيث أن أى زيادة ولو بسيطة فى معدل نموها تؤدى الى سيادتها بدرجة واضحة فى أوساط بيئية معينة .

ولابد من إنتاج المركبات وحيدة البلمرة الأساسية فى صورة نشطة ؛ حتى لاتحتاج إلى طاقة أخرى أثناء عملية البلمرة ، وتتماثل هذه المركبات (مثل amino acyl- RNA ، النيوكلوزيدات ثلاثية الفوسفات وغيرها) فى جميع الكائنات الحية الدقيقة والراقية على حد سواء .

عملية البلمرة :

تتم هذه العملية بطريقة متماثلة فى جميع الكائنات الحية ، ولكنها تختلف فى نوعية المركبات المبلمرة الناتجة كما هو مبين فيما يلى :

البلمرة المتجانسة :

بمعنى : -A-A-A-A-A

حيث يتكرر مركب واحد من المركبات وحيدة البلمرة طوال السلسلة الكيميائية . وتستلزم عملية البلمرة نشاط إحدى أنزيمات البلمرة على المركب وحيد البلمرة منشط (A^*) ، وذلك من خلال تفاعل يحتاج إلى وجود جزيء عديد البلمرة [$(A)_n$] كنواه لحدوث العملية بمعنى :

$$(A)_n + A^* \rightarrow (A)_{n+1}$$

وهنا يجدر الإشارة إلى مثالين نموذجيين :

(أ) عديدات الجلوكوز

$$(glucose)_n + ADPG \rightarrow (glucose)_{n+1} + ADP$$

حيث أن : $(glucose)_n$ = glycogen

ومركب ADPG هو جلوكوز أدينوزين ثنائي الفوسفات

أو $(glucose)_n$ + glucose-fructose $\rightarrow$ $(glucose)_{n+1}$ + fructose

حيث أن $(glucose)_n$ = dextran, glucose-fructose = sucrose

(ب) عديد بيتاهيدروكسي بيوتيرات Poly -β- hydroxybutyrate

(β-hydroxbutyrate)$_n$ + β-hydroxybutyryl CoA $\rightarrow$ (β-hydroxybutyrate)$_{n+1}$ + CoA

البلمرة غير المتجانسة مع تكرار وحدة ثابتة (البلمرة غير المتجانسة والمنتظمة)

بمعنى

-A-B-C-A-B-C-A-B-C- or $(A\text{-}B\text{-}C)_n$

حيث يتكرر هنا اكثر من مركب وحيد البلمرة فى الوحدة ولكن المركب عديد البلمرة يتكون من تكرار وحدة تختلف فى درجة تعقيدها . وتحدث عملية البلمرة عادة نتيجة لتمثيل الوحدة المنشطة فى البداية ثم تتم لها عملية البلمرة .

بمعنى :

$$A^* + B^* \rightarrow AB^*$$
$$AB^* + C^* \rightarrow ABC^*$$
$$(ABC)_n + ABC^* \rightarrow (ABC)_{n+1}$$

وفى المثال السابق نجد أن طبيعة المركب عديد البلمرة يتحدد طبقا لتخصص ثلاث أنزيمات مسئولة . ومن أمثلة هذه المركبات النموذجية التى تخلقها الميكروبات عديدات السكر غير المتجانسة الموجودة فى جدار الخلية والكبسولة ومادة السكريات الببتيدية فى الكائنات الحية بدائية النواة .

البلمرة غير المتجانسة دون تكرار وحدة ثابتة :

بمعنى : -A-D-A-C-B-D-A-A-

والمثال الوحيد فى هذا الخصوص هو الأحماض النووية والبروتينات . فعلى عكس ماسبق لاتتحدد طبيعة المركب المتكون نتيجة لتخصص الأنزيم المسئول ، ولكنها تتحدد نتيجة للشفرة أو نظام القالب المتكرر ، علما بأن الطرق المستخدمة فى هذا الخصوص بصفة عامة هى النسخ والترجمة ، كما أن الشفرة المستخدمة تعتبر عامة بالنسبة لجميع الكائنات الحية . والمثال الشهير على ذلك والذى يكاد يكون معروفا للجميع هو تكون ضفيرة الحمض النووى DNA .

$$\begin{array}{l} DNA \longrightarrow m\text{-}RNA \longrightarrow protein \\ \ \downarrow \\ DNA \end{array}$$

تحول مكونات الخلية إلى الصور النشطة فسيولوجيا :

تنتج معظم مكونات الخلية فى صورة كاملة النشاط وفى الموقع المحدد بالخلية وذلك

كى تقوم بدورها ، وعلى هذا نجد أن الأنزيمات الذائبة تتكون فى الريبوزومات ثم تنطلق مباشرة إلى السيتوبلازم ، فى حين أن العديد من الجزيئات الكبيرة المكونة لجدر الخلية تحدث لها عملية البلمرة فى مواقع معينة من سطح الغشاء السيتوبلازمى الخارجى ، حيث ترتبط الوحدات النشطة مع جدار الخلية ، وفى أماكنها المحددة تحت فعل الأنزيمات المتصلة بالغشاء السيتوبلازمى . ومن ناحية أخرى نجد أن بقية المكونات يلزم نقلها وإندماجها كى تكوّن التركيبات الملائمة قبل أن تصبح فى حالة نشطه . لهذا نجد أن أنزيمات النفاذية الاختيارية (برمييز) والبروتينات الخاصة بسلسلة انتقال الالكترونات تكون مندمجة فى الغشاء السيتوبلازمى وأنزيمات بلمرة الحمضين النووين DNA, RNA توجد بالنواة وبروتينات الريبوزومات توجد بالريبوزومات وهكذا . ومن المعتقد أنه لابد أن يكون للبروتينات نقاط للتعرف على مواقعها ، حتى يمكن لها أن تعمل فى الموقع المناسب فى الخلية وإن كانت معلوماتنا عن هذا الموضوع لازالت قليله .

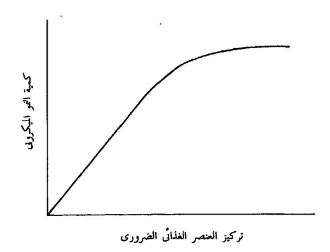
تغذية الكائنات الحية الدقيقة :

لقد شاهدنا أن هناك مابين 200 -100 مركب وحيد البلمرة ومرافقات إنزيمية وغيرها من المكونات الكيميائية الهامة والتى تعتبر ضرورية لنمو الكائنات الحية الدقيقة . ومثل هذه المكونات لابد أن يتم تمثيلها بواسطة الخلية ، أو تحصل عليها من الوسط المحيط على صورة مواد غذائية ، بمعنى آخر أن هناك علاقة عكسية بين مقدرة الخلية على التمثيل الحيوى للمكونات المختلفة وبين احتياجاتها الغذائية . وتستطيع بعض الخلايا تكوين جميع مكونات الخلية باستخدام الوحدات البنائية المتوفرة لها مما يمكنها من النمو فى بيئات غذائية بسيطة للغاية ، فى حين أن البعض الآخر لايمكنها إلا تمثيل القليل من المكونات اللازمة لها ، لذا فانه يلزمها احتياجات غذائية أكثر تعقيدا . وهذا المدى الواسع فى الاختلاف يمكن توضيحه بالنظر لاحتياجات الخلية من المركبات النتروجينية العضوية ، والتى من أهمها كمًّا الأحماض الأمينية ، والنيوكلوتيدات اللازمة لتخليق البروتينات والأحماض النووية ، وقد تستطيع بعض الكائنات الحية الدقيقة استعمال النتروجين الغازى حيث تعمل على اختزاله بواسطة ما يسمى بعملية تثبيت النتروجين الجوى منتجة الأمونيا التى بدورها تستخدم فى إنتاج مركبات النتروجين العضوية .

$$N_2 \xrightarrow[\text{تثبيت النتروجين الجوى}]{} NH_3 \longrightarrow \text{أحماض أمينية ونيوكلوتيدات}$$

ولهذا فإن الكائنات الحية الدقيقة المثبتة للنتروجين الجوى تستطيع النمو فى وجود غاز النتروجين كمصدر وحيد للنتروجين فى حين أن غيرها من الكائنات الحية الدقيقة يلزم لنموها توفر مركبات نتروجين معدنية مثل الأمونيا التى يمكن تحويلها إلى صور النتروجين العضوية ، كما أن بعض الكائنات الأخرى لاتستطيع تخليق غالبية الأحماض الأمينية والنيوكلوتيدات لذا يلزم توفر النتروجين اللازم لها فى صورة مركبات عضوية معقدة .

تتمثل العناصر الرئيسية المكونة لخلايا الكائنات الحية الدقيقة فى C ، H ، O ، S بالإضافة إلى P . وتحصل الكائنات الغير ذاتية التغذية على عنصر C من مواد عضوية مختلفة ويستمدعنصرى H ، O من الماء فى حين أن P, S, N تحصل عليها من الأيونات غير العضوية مثل الأمونيا ، النترات ، الكبريتات والفوسفات . ومثل هذه الكائنات الحية يمكنها النمو فى بيئة غذائية تركيبية يمكن تحضيرها من مواد غذائية مثل الجلوكوز ، $FeSO_4.MgSO_4 K_2HPO_4, Na_2SO_4, NH_4Cl,$ وعادة ماتوجد العناصر الغذائية الصغرى اللازمة لنمو الميكروبات (مثل Mn ، Ca ، Co ، Mo ، Cu ، Zn) بكميات كافية ، وذلك كشوائب مصاحبة للمواد الغذائية السابقة . أما بالنسبة للكائنات ذاتية التغذية ، فانها تستمد الكربون اللازم لها من CO_2 كما أنها تحتاج إلى مصدر مناسب من المواد المانحة للالكترونات كما فى حالة الكائنات ذاتية التغذية الضوئية بالإضافة إلى تزويد الخلايا بالإضاءة الكافية . وهناك مجموعة من البيئات التركيبية الأكثر تعقيدا والتى تحتوى على مواد غذائية إضافية يلزم توافرها لنمو كائنات حية دقيقة معينة . فعلى سبيل المثال نجد أن بكتريا Salmonella typhi (المسببة لحمى التيفود) تتطلب إضافة الحمض الأمينى التربتوفان إلى البيئة الغذائية التى تنمو عليها . وهناك كائنات حية دقيقة أخرى تعتبر أكثر تعقيدا فى احتياجاتها الغذائية . فمثلا يحتاج ميكروب Leuconostoc mesenteroides فى نموه إلى الخلات ، 14 حمض أمينى ، 4 قواعد بيرورين وبريميدين ، 10 مرافقات إنزيمية (والتى قد يطلق عليها فى هذه الحالة بالفيتامينات الميكروبية) ، مما يشير بوضوح إلى إمكانية هذا الميكروب المحدودة جدا فى التمثيل الحيوى لمكونات الخلية الأساسية . وتعتبر مثل هذه البيئات التركيبية المعقدة غاية فى التكلفة وصعوبة التجهيز لذا فإن استخدامها يكون مقصورا على الأغراض البحثية . ولكن من الناحية الروتينية نجد أن البيئات الشائعة الاستعمال فى المعامل الميكروبيولوجية يجب أن تسمح بنمو أكبر عدد ممكن من الكائنات الحية الدقيقة ، وأن تكون سهلة الإعداد باستمرار بالإضافة إلى كونها اقتصادية . وهناك مجموعة متباينة من هذه البيئات التى تصنع على نطاق واسع ، والتى تتكون أساسا من مصدرين للمواد الغذائية :



(شكل ٥ — ٤) التقدير الحيوى للعناصر الغذائية بواسطة الميكروبات،العلاقة الناشئة بين النمو الميكروبى وتركيز العناصر الغذائية الضرورية

١ — إحدى نواتج التحلل المائى للبروتينات (والتي يطلق عليها أحيانا الببتون) ، وذلك كمصدر للطاقة وعنصرى C ، N والأحماض الأمينية .

٢ — مستخلص طبيعى يحتوى على المواد الغذائية الأساسية الأخرى مثل الفيتامينات والأملاح . ويستخدم فى هذا الخصوص مستخلص اللحم أو مستخلص الخميرة ، ولكن فى بعض الأحيان قد يضاف الدم أو السيرم أو البيض . ومن أهم أمثلة هذه البيئات المعملية الشائعة الاستعمال بيئة المرق المغذى التى عادة ماتحتوى على 2% -1 ببتون ، 1% مستخلص اللحم بالإضافة إلى ملح NaCl الذى يعمل على تعديل الضغط الاسموزى كى يصبح ملائما لنمو معظم الميكروبات .

التقدير الحيوى للعناصر الغذائية بواسطة الميكروبات :

إذا ماأخذنا فى الاعتبار مدى احتياج النمو الميكروبى للمواد الغذائية المختلفة ، والتخصص فيما بين الميكروبات من حيث هذه الاحتياجات فإنه يمكن استخدام كفاءه نمو الكائنات الحية الدقيقة كإحدى طرق التقدير الحيوى للعناصر الغذائية . فعند قياس كمية النمو الميكروبى المتكون فى مجموعة متتالية من البيئات الغذائية المحتوية على تركيزات مختلفة من عنصر غذائى معين ، فإننا نحصل على نتيجة مماثله لما هو مبين فى الشكل (٥ — ٤) ، حيث يلاحظ أنه توجد فى مجال التركيزات المنخفضة لهذا العنصر علاقة

خطية بين التركيز وكمية النمو (A إلى B) . ولكن فى وجود تركيزات أكبر من ذلك يحدث ثبات لكمية النمو حيث قد يصبح عاملا آخر خلاف تركيز العنص الغذائى تحت الدراسة هو المحدد للنمو . لذا فإن الجزء الخطى من هذه العلاقة يمكن استخدامه فى التقدير الحيوى للعناصر الغذائية المختلفة . ومن الناحية النظرية يمكن استخدام هذه الطريقة فى تقدير أى من العناصر الغذائية اللازمة لنمو الميكروبات ، ولكنها تعتبر أكثر أهمية بالنسبة لتقدير الفيتـامينات حيث يتم ذلك بدرجة عالية من التخصص والدقة .

تطور تغذية الكائنات الحية الدقيقة :

يفترض أن الكائنات الحية الدقيقة ذات الاحتياجات الغذائية البسيطة هى أكثر صور الحياة بدائية وذلك من ناحية النشوء والتطور . وفى الأوساط البيئية الغنية فى المواد الغذائية المختلفة نجد أن القدرة على التمثيل الحيوى لمكونات الخلية يعد غير ذى فائدة بل تعتبر ضارة بالخلية التى قد تنتج كماً هائلاً من الأنزيمات التى تعد غير ضرورية . وعند استيطان الكائنات الحية الدقيقة لمثل هذه الأوساط البيئية الغنيه كما فى حالة الطفيليات فإنه يفترض حدوث تطور غذائى فى اتجاه نشوء طفرات تفتقد الى بعض المسارات الكيميائية اللازمة لتمثيل بعض مكونات الخلية . ويصل مدى التطور الغذائى إلى أقصاه فى الكلاميديا ، التى ليس لها نظام منتج للطاقة ، وتعتمد بالتالى على خلية العائل فى الحصول على احتياجاتها من ATP وأغلب احتياجاتها الغذائية . ونتيجة لاعتماد الكلاميديا على العائل فإن لها ذخيرة إنزيميه محددة كما أنها تحتوى على كمية من الحمض النووى DNA تعادل عُشْر ذلك الموجود فى الخلية بدائية النواة ذات النشاط التمثيلى الكامل .

ولكن يقف أمام هذه النظرية البسيطة الخاصة بالتطور الغذائى عائق أساسى وهو أن الكائن الاكثر بساطة فى احتياجاته الغذائية يفترض فيه أنه أكثر الكائنات الحية تعقيدا بالنسبة لعدد الأنزيمات التى يكونها . وهذا الموقف الغامض سوف نناقشه فيما بعد (صفحة 141) .

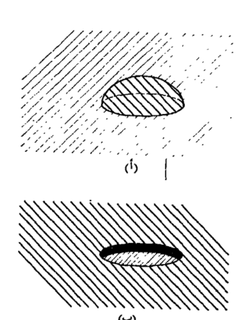
الفصل السادس

تكاثر الفيروسات

جرت العادة عند دراسة نظام تضاعف الفيروسات وتكاثرها أن يتم ذلك بتتبع مهاجمة الخلية البكتيرية بواسطة أحد جزيئات البكتريوفاج أو الفاج كما يسمى عادة . فى الحقيقة فقد ركزت معظم الأبحاث فى هذا المجال على مجموعة من الفاجات المتخصصة فى مهاجمة بكتريا Escherichia coli (والتى يطلق عليها فاجات بكتريا مجموعة القولون) وقد اختيرت هذه الفاجات بالصدفة ، وأعطيت حرفا معينا هو (T) يعقبه رقم مميز . وتعتبر فاجات T2, T4 T6 ذات خصائص متماثلة ، كما أنها حظت باهتمام معظم الباحثين . وعلى الرغم من كون هذه الفاجات فيروسات ذات تركيب بالغ التعقيد (انظر صفحة 55) ، إلا أنه قد ثبت ملاءمتها لأغراض التجارب والأبحاث . وسوف يتناول هذا الفصل بصفة أساسية النتائج التى تم الحصول عليها بدراسة هذه الفاجات ، والتى يمكن تطبيقها على الفيروسات بصفة عامة .

تقدير أعداد الفاجات :

يعد الميكروسكوب الالكترونى من الطرق المعقدة وغير الموثوق فيها فى تقدير أعداد الفاجات ولكن لابد من ذلك تستخدم طريقة عد جزيئات الفاج النشطة والتى تعتمد أساسا على مقدرة الفاج على إصابة الخلية البكتيرية الحساسة ، حيث يتكاثر بداخلها مؤديا فى النهاية إلى تحللها وانطلاق فاجات حديثة تعاود مهاجمة الخلايا البكتيرية المجاورة . ولإجراء ذلك معمليا يضاف الفاج إلى غشاء رقيق من الخلايا البكتيرية الموجودة على طبق من الآجار المغذى ؛ حيث يهاجم كل جزىء فاج خلية من خلايا العائل ، ويتكاثر بداخلها ثم يعمل على تحللها مما يؤدى إلى تكون بقع شفافة على طبق

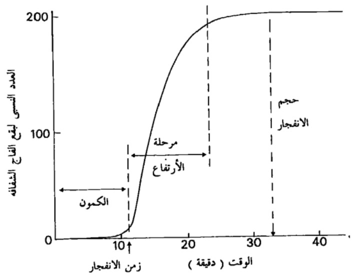


(شكل ٦ – ١) مقارنة بين كل من المستعمرة البكتيرية وبقع الفاج الشفافة .
(أ) مستعمرة بكتيرية نامية على طبق آجار .
(ب) بقع فاج شفافة متكونة فى الغشاء البكتيرى الرقيق والمندمج .

الآجار تتكون أساسا من خلايا البكتريا المتحللة ، والتى تم قتلها بواسطة الفاج . وحيث أن كل بقعة من هذه البقع الشفافة تنتج أساسا عن جزىء فاج واحد فإن ذلك يستخدم فى عد جزيئات الفاج كما هو الحال بالنسبة للمستعمرات الميكروبية التى تستخدم فى تقدير أعداد الكائنات الخلوية الأخرى من البكتريا والفطريات (شكل ٦ ـــ ١) .

منحنى النمو ذو المرحلة الواحدة :

تتضح أهم خصائص الفيروسات من خلال تجارب منحنى النمو ذو المرحلة الواحدة . حيث تخلط خلايا بكتريا حساسة مع عدد قليل من جزيئات الفاج المتخصص فى إصابتها ثم يحضن الخليط لمدة قصيرة تسمح بادمصاص الفاجات على الخلية البكترية ثم يعمل تخفيف للمزرعة والتى تترك بعد ذلك لتنمو حتى يمكن تقدير أعداد كل من جزيئات الفاج الحرة ؛ بالإضافة إلى الخلايا البكتيرية المصابة معا وهنا يجدر ملاحظة أن كل بقعة شفافة تكون ناتجة من إحدى جزيئات الفاج أو من خلية مصابة بغض النظر عما تحتويه من جزيئات الفاج مع اختلاف أعدادها . ويوضح الشكل (٦ – ٢) نتائج إحدى التجارب النموذجية .



(شكل ٦ – ٢) منحنى النمو ذو المرحلة الواحدة لاحدى الفاجات التى تصيب الخلية البكتيرية

فى البداية يمر الفاج بمرحلة كمون لايحدث خلالها أى زيادة فى أعداد البقع الشفافة المتكونة على سطح الآجار ، وفجأة يحدث ارتفاع مضطرد فى أعداد جزيئات الفاج المكونة للبقع الشفافة وذلك أثر تحلل خلايا البكتريا وانطلاق نتاج الفاجات الجديدة . وبعد ذلك تصل فترة الانفجار هذه إلى الثبوت حيث يظل أعداد البقع الشفافة المتكونة ثابته تقريبا ، نظراً لأن التخفيف الكبير للمزرعة يحول دون ادمصاص الفاجات المتكونة حديثا على ماتبقى من الخلايا البكتيرية . ويطلق على المعدل الذى تتزايد به جزيئات الفاج فى مثل هذه التجارب بحجم الانفجار ، والذى يمثل متوسط أعداد جزيئات الفاج الناتجة عن تحلل خلية بكترية واحدة مصابة . وهنا يتضح مدى كفاءة الفيروسات فى تكاثرها ، حيث عادة ما ينتج عن الخلية الواحدة المصابة عدة مئات من جزيئات الفاج علما بأن المدة التى يتم خلالها إنجاز جميع مراحل تجربة منحنى النمو ذو المرحلة الواحدة تستغرق مابين 20 -10 دقيقة .

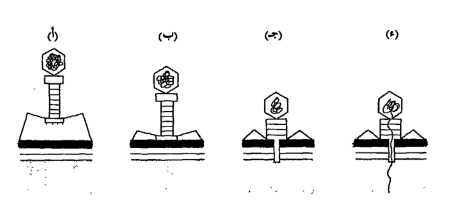
تضاعف الفاجات :

بأخذ فاجات بكتريا القولون (فاجات T) كنموذج للدراسة ، وجد أن الفاجات عموما أثناء تضاعفها تمر بالمراحل الثلاث التالية :

١ ـــ الادمصاص واختراق خلايا العائل .
٢ ـــ إنتاج جزيئات الفاج الجديدة داخل الخلية .
٣ ـــ تحلل خلايا العائل ، وانطلاق جزيئات الفاج .

ادمصاص خلايا العائل واختراقها :

عند مزج معلق من جزيئات الفاج بخلايا بكتيرية حساسة فإن الفاجات تتعلق بأسطح خلايا العائل (شكل ٦ - ٣ أ) وتعد عملية الادمصاص هذه فى غاية التخصص ويمكن تشبيهها بما يتم بين الانزيمات ومواد التفاعل أو الأجسام المضادة والأجسام المولدة لها . وتوجد هناك مناطق مكملة لبعضها على كل من خيوط الفاج وجدار الخلية البكتيرية . ويعقب عملية الادمصاص تمام استقرار خيوط الفاج والتحامها بأسطح الخلية (شكل ٦ - ٣ ب) ، ويلى ذلك انضغاط غمد ذيل الفاج مما يؤدى إلى دفع الجزء الداخلى للذيل خلال جدار الخلية والغشاء السيتوبلازمى (شكل ٦ - ٣ جـ) وفى النهاية يجد المحتوى النووى طريقه إلى داخل الخلية البكتيرية (شكل ٦ - ٣ د) بواسطة عملية تشابه الحقن بالمحقنة تحت الجلد ، وذلك مع ملاحظة عدم انضغاط رأس جزىء الفاج ذاته ، وحتى الآن لم يعرف السبب الأكيد والذى يعمل على دفع المحتوى النووى للفاج إلى داخل الخلية البكتيرية ، والنتيجة النهائية للعملية السابقة هى ترك الغلاف البروتينى لجزئ الفاج خارج خلية العائل ، فى حين يمر المحتوى النووى فقط إلى الداخل . ولقد تم الكشف عن هذه الحقيقة عندما تم تعليم بروتين الفاج باستخدام النظير المشع ^{35}S والحمض النووى باستخدام نظير الفوسفور ^{32}P فى التجارب المعملية ، حيث تبين أن عنصر ^{32}P هو الوحيد الذى يصل إلى داخل سيتوبلازم الخلية ، لاعبا الدور الأساسى فى تكاثر جزيئات الفيروس . وتعتبر هذه التجربة من التجارب الأساسية التى ساعدت فى تقدم علوم الحياة والوراثة الجزيئية حيث أنها أظهرت أن الحمض النووى للفاج فقط هو الذى يعد أساسيا لحمل الشفرة الوراثية الخاصة بانتاج جزيئات الفيروس المكتملة . بمعنى



(شكل ٦ - ٣) ادمصاص الفاج على خلية بكتيرية حساسة ثم حقن الحمض النووى للفاج (أقرأ النص للمزيد من التفاصيل) .

أن المعلومات الوراثية الأساسية محصورة فى الحمض النووى للفاج . ومن الشواهد الملفته للنظر ، والتى أدت إلى التأكد من أن الغلاف البروتينى لجزئى الفاج ينحصر دوره فقط فى نقل الحمض النووى المعدى للفاج من خلية بكتيرية لأخرى ما لوحظ من أن الفاجات المنزوع غلافها الخارجى يمكنها أن تصيب الخلية البكتيرية وذلك بعد التخلص من العائق الأساسى لعبورها وهو جدار الخلية ، كما فى حالة البروتو بلاست ، وتؤدى مثل هذه العدوى إلى إنتاج جزيئات فاجات مكتملة وطبيعية .

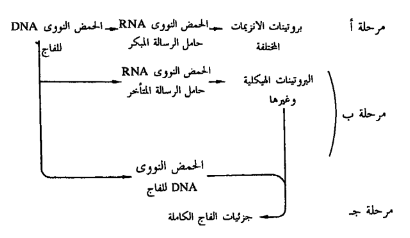
إنتاج خلفة الفاجات الجديدة :

يعمل دخول الحمض النووى للفاج إلى داخل الخلية البكتيرية على تثبيط كامل لعملية تمثيل الحمض النووى والبروتينات الخاصة بالخلية ، وبدلا من ذلك تقوم أجهزة التمثيل الغذائى فى الخلية بتمثيل مركبات الفاج عديدة البلمرة بناء على الشفره الموجودة فى الحمض النووى للفاج . وهنا يمكن تمييز ثلاثة مراحل :

١ — تحت تأثير من أنزيم RNA Polymerase الخاص بخلية العائل ينسخ جزء من الحمض النووى للفيروس إلى الحمض النووى RNA حامل الرسالة ويؤدى تكون هذا الحمض المبكر إلى ترجمته بواسطة ريبوزومات خلية العائل وإنتاج مايسمى بالبروتينات المبكرة والتى تعتبر من أهم الأنزيمات لتكاثر الفاج ، فعلى الرغم من اعتماد الفيروس فى تكاثره أساسا على أنزيمات الخلية البكتيرية الموجودة أصلا بها عند حدوث العدوى ، إلا أنه يحتاج أنزيمات إضافية تتكون تحت تأثير الحمض النووى للفيروس ، والتى تعتبر أساسية أو منشطة لتضاعف الحمض النووى للفيروس فيما بعد . فعلى سبيل المثال نجد أن فاجات T تحمل شفرات وراثية خاصة بتخليق ما يعادل عشرون أنزيما من هذه الأنزيمات المبكرة . ولكن يجب التأكيد هنا على أن هذه البروتينات ليست من التراكيب الأساسية للفاج ، ولاتوجد مصاحبة لجزيئات الفاج المكتمله .

٢ — تشتمل المرحلة الثانية على إنتاج البروتينات الأساسية والحمض النووى للفاج . ولقد رأينا أن فاجات T ذات تركيب معقد وأن العديد من البروتينات المختلفة التركيب يلزم تمثيلها . وهذه البروتينات المتأخرة فى تكوينها تستنسخ تحت تأثير بعض المناطق فى جينوم الفاج والتى لم يسبق التعبير عنها فى المرحلة السابقه . وفى نفس الوقت تقريبا تتكون الكميات الجديدة من محتوى الفاج النووى . وبهذا يكون قد تم إنتاج كل المكونات الضرورية لبناء جزيئات الفاج الحديثة .

٣ – وتمثل المرحلة الأخيرة تجميع مكونات الفاج . ولا يحدث مثل هذا التجميع عشوائيا فى مراحله الزمنية المختلفة ولكنه يتم بناء على خطوات متتالية وبنظام تشكيلى وراثى دقيق . حيث تتكثف جزيئات الحمض النووى للفاج تحت تأثير أحد البروتينات المتكونة فى مرحلة متأخرة ، والتى تسمى بالعامل المكثف ، فى حين أن الوحدات التركيبية لغلاف الفاج البروتينى تتجمع ذاتيا بطريقة مماثلة لعملية التبلور مكونة فى النهاية رأس الفاج الفارغة ، عندئذ يمر الحمض النووى إلى الرأس لتملأه . وبطريقة مماثلة تتم العمليات الهامة لتجميع ذيل الفاج وخيوطه والتى تلتحم بعد ذلك مع رأس الفاج مكونة جزيء الفاج الكامل . وهنا يلزم الإشارة إلى أن مجموعة من الجينات المتخصصة ه المسئولة عن حدوث عملية التجميع بطريقة منتظمة وعلى التوالى .



التحلل والانطلاق من خلايا العائل :

يصاحب عملية تخليق الفاجات الحديثة بداخل خلايا العائل تكون أحد بروتينات الفيروس المتأخرة فى سيتوبلازم الخليه والتى لها فعل مشابه لفعل انزيم الليزوزيم الموجود بذيل الفاج . ويحفز هذا الانزيم حدوث عملية تحلل مائى لطبقة السكريات الببتيدية الموجودة فى جدار الخلية مما يؤدى إلى إضعاف صلابة الجدار وفى النهاية تنفجر الخلية تحت تأثير الضغط الاسموزى المرتفع بداخلها . وعلى هذا نجد أن خلفة الفاجات الجديدة تنطلق حرة فى الوسط المحيط ، حيث تسعى لإصابة خلايا جديدة وتعيد الكرة ثانية .

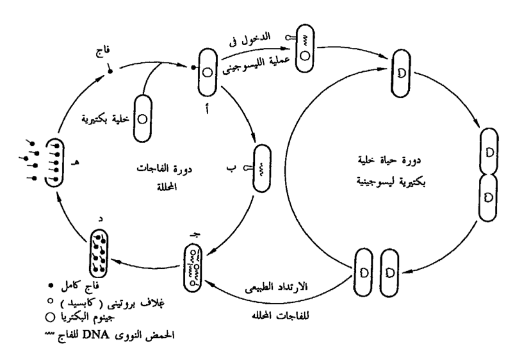
وعلى الرغم من أن دراسة تكاثر الفيروسات قد تتبعناه لأكثر الفاجات تعقيدا والمحتوية على الحمض النووى من النوع DNA فإن مراحلها تنطبق بصفة عامة على غيرها من الفيروسات عامة . ومع هذا فإن الفيروسات التى تحتوى على حمض نووى من النوع RNA تستلزم وجود ميكانيكية خاصة لتكاثر الحمض النووى عن طريق عملية النسخ ، بمعنى أن الحمض النووى RNA للفاج يسلك مسلكا مماثلا للحمض النووى من النوع DNA حيث يعمل على مضاعفة نفسه ، وفى الوقت ذاته يعمل كما لو كان حمض نووى RNA حامل للرسالة ، وهناك أيضا بعض الاختلافات المتعلقة بالطريقة التى يدخل بها الحمض النووى لمثل هذا النوع من الفيروسات إلى داخل خليه العائل . فعلى سبيل المثال بالنسبة للفيروسات النباتية البسيطة لاتوجد أية طرق متخصصة لادمصاص جزيئات الفاج ودخولها للخلية ، ولكن اختراقها يحدث عبر الكسور والجروح المتواجدة على أسطح النباتات بفعل الحشرات ، وتنتقل الفيروسات الحيوانية إلى داخل خلية العائل بواسطة عملية الابتلاع أوالارتشاف وعندئذ يبدأ الحمض النووى فى التحرر من الغلاف المحيط به . وتنطلق الفيروسات الحيوانية من خلايا العائل بطريقة عكسية لما يحدث أثناء عملية الارتشاف .

ومهما بلغت درجة إتقان عملية تكاثر الفيروسات فانها تختلف اختلافا واضحا عما يحدث بالنسبة للكائنات الخلوية ، حيث تحتفظ الخلية بذاتيتها حتى عند تطفلها داخل خلايا أى عائل . بمعنى آخر تقوم الفيروسات بما يسمى بعملية التطفل الوراثى عن طريق فرض سيطرتها وغلبتها على الحمض النووى والجهاز التمثيلى لخلايا العائل . ولعل هذه الخاصية بالإضافة إلى كون الفيروسات تختلف اختلافا مميزا فى تركيبها ، مع افتقارها لجهاز التمثيل الغذائى ، وعدم وجود أى تركيب حى آخر كحلقة اتصال فيما بينها وبين الخلايا ، كل هذا يؤدى إلى الاعتقاد بأن هذه الفيروسات نشأت أصلا عن طريق الارتقاء فى نشأة الحمض النووى وتطوره إلى كائن له القدرة على التضاعف ذاتيا ، ولم تنشأ بطريقة عكسية أى بتحول الخلايا وتخصصها تدريجيا إلى الأشكال الحية الأكثر تطفلا . فعلى سبيل المثال من الممكن أن نتصور استقلال أحد الكروموزومات أو جزء منه أو أحد الريبوزومات بحيث تصبح متحررة ؛ ولا تخضع لأجهزة التحكم فى الخلية . ومما يؤيد مثل هذا التصور أن بعض الفيروسات ـــ وتحت ظروف معينة – يمكنها أن تندمج داخل خلية العائل بحيث تتكاثر معها تلقائيا ، وتسمى مثل هذه العملية للبكتريوفاج بعملية الليسوجينى .

الليسوجينى :

تؤدى الفاجات الفتاكة فور دخول حمضها النووى خلية العائل إلى حدوث سلسلة من الأحداث التى لارجعة فيها ، مسببة فى النهاية تحلل الخلية البكتيرية وانطلاق الخلفة الجديدة من الفاجات ، ولكن يوجد هناك عملية بديلة تقوم بها العديد من الفيروسات ، حيث تعمل بعد دخول حمضها النووى إلى خلية العائل على الاندماج مع الهيئة الجينية للخلية ، بل لم يحدث لها تضاعف مصاحب لتكاثر الخلية ولفترة من الزمن . وعلى ذلك توجد فى صورة كامنة تسمى بالبروفاح أو الفاج الأولى (شكل ٦ – ٤) . ويطلق على مثل هذه العلاقة الناشئة بين الفيروس والبكتريا بعملية الليسوجينى ، وتسمى هذه الفاجات التى يمكنها الدخول فى مثل هذه العلاقة بالفاجات المعتدلة ، وذلك للتفرقة فيما بينها وبين الفاجات الفتاكة التى سبق الحديث عنها . ويمكننا أن نستدل على أن الفاج الأولى يتكاثر متزامناً مع خلية العائل بدليلين :

١ – يحدث من آن لآخر وعن طريق الصدفة تحول الفاج إلى الصورة الفتاكة مستأنفا دورة التحلل ، ويمكن زيادة نسبة حدوث هذه العملية بواسطة استخدام بعض المواد المحثة على ذلك .



(شكل ٦ – ٤) دورة التحلل الناشئة عن العدوى بفاجات فتاكة وحالة الليسوجينى الناتجة عن الاصابة بالفاجات المعتدلة .

٢ - غالبا ماتتغير بعض الصفات المظهرية للخلية البكتيرية عند تكون البروفاج بداخلها ، وبصفة خاصة نجد أن مثل هذه الخلايا تكتسب مناعة ضد الإصابة مرة أخرى بهذا النوع من الفاجات أو الفاجات القريبة منها . كما قد تحدث تغيرات أكثر تخصصاً ، وهذه التغيرات يتضح أهميتها إذا ما أدركنا أن جزء كبير من البكتريا فى الطبيعة توجد فى حالة ليسوجينى . فعلى سبيل المثال نجد أن التركيب الكيميائى للأجسام المولدة للمناعة قد يتغير مع وجود البروفاج فى الخلايا . ففى البكتريا المسببه لمرض الدفتريا وجد أن القدره على أحداثها للمرض ودرجة سميتها ترتبط مع دخولها فى حالة الليسوجينى . ومن الأسئلة الهامة فى هذا المجال هو إلى أى مدى يكون حدوث مثل هذا الارتباط بين الفيروس وخلايا العائل بأنواعها المختلفة . فهناك من الأدلة ما يشير إلى أن الفيروسات قد تسبب حدوث مرض السرطان عن طريق اندماجها فى الخلية الحيوانية ، وبذلك تعمل على تحويلها إلى خلية سرطانية ، ومع ذلك فإننا لانعلم الكثير عن مدى مسئولية الفيروسات فى إحداث مرض السرطان بصفة عامة .

الكائنات الحية الدقيقة والفيروسات :

قد تصاب غالبية الخلايا الميكروبية ذات النواة البدائية بنوع أو آخر من الفيروسات ، والبعض من هذه الفيروسات البكتيرية يتميز بتركيب معقد مماثل لفاجات T ، فى حين أن البعض الآخر يكون بسيطا فى تركيبه حيث يتكون من رأس فقط تأخذ شكلا شبه مستديراً بينما تأخذ القلة أشكالا خيطية . وهناك بعض الفيروسات التى تستطيع إصابة الطحالب الخضراء المزرقة ، والتى تأخذ أشكالا شبيهة بالفاجات . ولكن لم يعرف حتى الآن مدى إمكانية إصابة الفيروسات للخلايا الحقيقية النواة ؛ والحالة الوحيدة المعروفة حتى الآن والمؤكدة هو إصابة بعض الفيروسات للفطريات . فعلى سبيل المثال قد تسبب هذه الفيروسات بعض المشاكل لعمليات إنتاج فطريات عش الغراب . والسبب وراء مقاومة الطحالب ومعظم الفطريات والبروتوزوا للعدوى بالفيروسات غير معروف حتى الآن ، والذى قد يعزى للافتقار إلى الأبحاث الجادة فى هذا المجال . ومع ذلك فهناك قليل من الشك حول عدم قدرة الفيروسات على إصابة الخمائر لأن مثل هذه الإصابة لو حدثت لأمكن ملاحظتها فى الصناعة .

الفصل السابع

وراثة الكائنات الحية الدقيقة

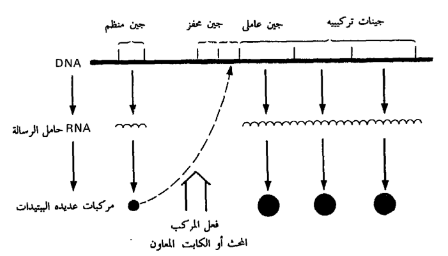
لقد حدث خلال الربع الأخير من هذا القرن تحول كبير فى مفهومنا لوراثة الكائنات الحية الدقيقة ، خاصة فيما يتعلق بالبكتريا . حيث تم تفنيد رأى المدرسة التى تنادى بتعدد أشكال الميكروبات ورجوعها جميعا فى الأصل لميكروب واحد ، وذلك أثر النجاح فى الحصول على العديد من المزارع النقية ، ومع ذلك فقد ظلت وجهة النظر الأولى هذه باقية لفترة على الرغم من معارضتها لطبيعة اختلاف صور الحياة عموما ، ومع وجود العديد من الملاحظات المضادة لها ، بل لقد تشكك الكثير فيما إذا كانت البكتريا تحتوى على نواة وكروموزومات وجينات . ولعل السبب فى ذلك كان الصغر المتناهى فى حجم الكائنات الحية الدقيقة ، والذى يستلزم التعامل مع كثافة عددية هائلة من هذه الكائنات . والآن أصبحت الميكروبات من الكائنات التى تحظى بالاختيار لاستخدامها فى دراسة العديد من المشاكل الأساسية فى علم الوراثة ، كما أنها أسهمت بدور بالغ الأهمية فى تطور وتفهم التوارث على المستوى الجزيئى . فقد أسهمت المشاهدات على فطر Neurospora crassa فى التوصل إلى معرفة أن الجينات هى وسيلة التحكم فى التخليق المتخصص للبروتينات ، وفى النهاية أدت إلى صياغة النظرية التى تمثلها المعادلة :

جين واحد = أنزيم واحد

ثم استخدمت البكتريا ومنها على وجه الخصوص Escherichia coli فى تحديد أكثر عمقا لهذه العلاقة . بمعنى :

الحمض النووى DNA للجين (سيسترون) = جزىء واحد من عديد الببتيدات وتتم هذه العملية من خلال تكون مركب وسطى هو الحمض النووى RNA الحامل للرسالة عن طريق شفرة وراثية تعتبر عامة لكل الكائنات الحية .

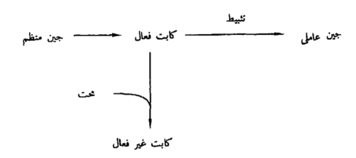
وعلى هذا فإن أغلب الجينات تقوم بإنتاج مركبات عديدة الببتيدات خاصة ، والتى تعمل مباشرة ، أو بعد اتحادها بعديدات ببتيدات أخرى مكونة انزيمات أو بروتينات تركيبية . وتسمى مثل هذه الجينات بالجينات التركيبية . ولقد ذكرنا فيما سبق أن البكتريا قادرة على التحكم فى إنتاج البروتينات المتخصصة بواسطة عمليات مختلفة مثل الحث والكبت (انظر صفحتى 108-109) . وبدراسة مثل هذه العمليات اتضح أن الجينات التركيبية التى تتحكم فى تخليق البروتينات المتقاربة فسيولوجيا عادة ماتتواجد فى صورة متجمعة على الكروموزوم ، ويطلق على مثل هذه المنطقة بالأوبرون . ويُنْتج كل من هذه الأوبرونات المتعددة الجينات جزىء وحيد من الحمض النووى RNA الحامل للرسالة بواسطة عملية النسخ ، والتى يتحكم فيها الجين العاملى الموجود على أحد طرف الأوبرون ، حيث يبدأ النسخ عند اتحاد انزيم بلمرة الحمض النووى RNA مع الجين المحفز ، والذى يوجد مجاورا لهذا الجين العاملى ويتم التحكم فى عمل الجين العاملى نتيجة لفعل مركبات عديدة الببتيدات ينتجها جين آخر يسمى بالجين المنظم (انظر شكل ٧ – ١) . والفعل الأساسى للمركبات عديدة الببتيدات المنظّمة ، هو اتحادها مع الجين العاملى وبهذا يمنع اتحاد أنزيم بلمرة الحمض النووى RNA مع الجين المحفز ، وبهذا يعمل على تثبيط عملية إنتاج الحمض النووى RNA الحامل للرسالة وبالتالى وقف تكون البروتينات التى يعتبر هذا الأوبرون مسئولا عن إنتاجها . وبمعنى آخر فإن التحكم يكون عملية سلبية ولو أن هناك بعض الأمثلة للتحكم الإيجابى والتى يمكن التعرف عليها .



(شكل ٧ – ١) أنواع الجينات المختلفة فى الكائنات الحية الدقيقة البدائية النواة وطرق التحكم فيها . يعمل المركب المحث أو الكابت على ناتج عمل الجين المنظم بالطريقة التى سبق شرحها فى صفحتى 109 ,108 .

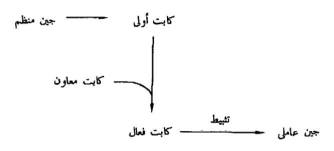
الحث :

يعمل مركب عديد الببتيدات الذى ينتجه الجين المنظم على تثبيط فعل الجين العاملى إلا أن المركب المحث يرتبط بصفة خاصة مع عديد الببتيدات المثبط وبذلك يمنع من اتحاده مع الجين العاملى مما يؤدى إلى استئناف عملية إنتاج البروتينيات المستحثة .



الكبت الناشيء عن النواتج النهائية :

نجد أن مركب عديد الببتيدات أو الكابت الأولى ؛ والذى ينتجه الجين المنظم ليس له أى تأثير على الجين العاملى ، إلا بعد أن يتحد بصفة خاصة مع المنتج النهائى أو مادة أخرى تسمى بالكابت المعاون ، وبالتالى يعمل على إيقاف عملية تخليق البروتينات . وهناك مثالان لتوضيح كيفية التحكم فى عملية تمثيل البروتينات والتى تعتبر نموذجا لدراسة ماهية النظام المحتمل حدوثه فى الكائنات الحية الراقية . ومع ذلك فإن سرعة الاستجابة للمنبهات والمؤثرات البيئية المختلفة يعتمد على مدى ثبات جزيئات الحمض النووى RNA حامل الرسالة ، فنجد أنه فى البكتريا لايتجاوز عمر مثل هذه الجزيئات 3 -2 دقائق مما يساعد على سرعة التغيير والتبديل فى اتجاه عملية تمثيل البروتينات . وقد تعتبر مثل هذه الميكانيكية مسئولة عن بدء أو وقف عملية تمثيل البروتينات أثناء



عمليتى التجرثم والإنبات (صفحة 43) وغيرها من عمليات التمييز الوظيفى الأكثر تطوراً وتعقيداً . ومثل هذه الدراسات الوراثية على المستوى الجزيئى أصبحت معروفة جيداً ، ولو أنها أصبحت ممكنة فقط مع إمكانية الحصول على طفرات مناسبة ، وباستخدام طرق متعددة لإحداث اتحادات وراثية جديدة فى الكائنات الحية بدائية النواة .

وسوف يعنى هذا الفصل من الكتاب بالطفرات والاتحادات الوراثية الجديدة .

طفرات الكائنات الحية الدقيقة :

لقد تبين أن التغيرات الوراثية الكبيرة فى خصائص البكتريا تعزى أساسا إلى حدوث الطفرات وانتقائها . وفيما يلى أهم الامثلة فى هذا المجال .

١ - طفرات العوز الغذائى :

لقد لاحظنا أن العديد من الكائنات الحية الدقيقة مثل Escherichia coli يمكنها النمو فى منابت معملية تحتوى على مصدر واحد للكربون والطاقة . ويطلق على مثل هذه الميكروبات بالكائنات أولية التغذية . وعند حدوث طفرة تؤدى إلى فقد الميكروب للمقدرة على تمثيل أحد نواتج التمثيل الغذائى الهامة مثل الأحماض الأمينية أو المواد المنشطة للنمو فإن ذلك ينتج عنه احتياج هذه الميكروبات فى تغذيتها إلى تواجد مثل هذه المركبات ، عندئذ يطلق على هذه الطفرة بطفرة العوز الغذائى . ولقد استخدمت مثل هذه الطفرات كأساس فى التجارب الوراثية وذلك كوسيلة لتوضيح العلاقة فيما بين الجينات والأنزيمات وكذلك لاكتشاف مسارات التمثيل الغذائى المختلفة .

٢ - الطفرات المقاومة :

قد تنشأ مناعة الخلايا الميكروبية لفعل المضادات الحيوية المختلفة والفاجات نتيجة لانتخاب الطفرات المناسبة . ومن المحتمل أن يترتب على مثل هذه المناعة المكتسبة عواقب وخيمة نظرا لأن المقاومة لفعل أخذ المضادات الحيوية قد لايؤدى إلى استمرار استخدام مثل هذه المواد الكيميائية فى علاج العدوى بالميكروبات .

٣ – الطفرات المؤدية إلى تغيرات فى المركبات عديدة البلمرة الموجودة على أسطح الخلية :

من السهل التعرف على طبيعة التغيرات الناشئة فى الطبقات الموجودة على أسطح الخلية ، حيث أنه ينتج عن مثل هذه التغيرات اختلاف فى شكل المستعمرات الميكروبية المتكونة على أسطح المنابت الصلبة . فعلى سبيل المثال نجد أن ميكروب Pneumococcus المعزول من شخص مصاب بمرض الالتهاب الرئوى ينتج مستعمرات مخاطية لزجة نظرا لتمثيل الخلايا لكبسولة مكونة من مركبات عديدة السكريات تحيط بالخلية . ويؤدى استمرار زراعة هذه السلالات معمليا إلى انتخاب طفرات ذات مستعمرات غير منتجة لمثل هذه الكبسولة المعقدة ، وليس لها القدرة على إحداث المرض . بمعنى أنها تصبح غير معدية ، وهذا ناشيء عن الفقد نتيجة للطفرة لأحد الأنزيمات المسئولة عن تمثيل عديدات السكر خارجيا على سطح الخلايا .

وهـذه بعض الطفرات التى يمكن العثور عليها فى كل من الطبيعة والمعمل ومن المعلوم أن معظم الجينات قابلة لحدوث طفرات بها وبمعدلات متقاربة . ولكن قد يكون من الصعب التعرف على مثل هذه الطفرات وعزلها . والسؤال الهام الذى يطرح نفسه هنا والذى قد أخذ أبعادا فلسفية فى الماضى ، بل كانت له انعكاسات سياسية هامة هو ما إذا كانت هذه الطفرات تحدث ذاتيا أو تحت تأثير توجيه معين ؟ ولنأخذ على سبيل المثال الطفرة المؤدية إلى مقاومة مركب البنسلين والتى لسوء الحظ قد يتم العثور عليها من الناحية الطبية وبصورة شائعة . والسؤال هل تتدخل مركبات البنسلين ذاتها فى عملية حدوث مثل هذه الطفرات ؟ أم أنه ببساطة تعمل على انتخاب طفرات حدثت بصورة تلقائية ؟ والتحليل الرياضى لعملبات حدوث الطفرات قد أظهر أن مثل هذه العمليات تحدث حقيقة بصورة تلقائية ، كما أن استعمال بعض الوسائل المعملية المتخصصة قد سهل الحصول على طفرات مقاومة للبنسلين دون تعريض الخلايا لمركبات البنسلين . وعلى الرغم من أن طفرات الكائنات الحية تعتبر ذاتية وغير موجهه فإن استعمال بعض المطفرات مثل الأشعة فوق البنفسجية والأشعة المؤينة وبعض المواد الكيميائية مثل حمض النتروز والمركبات المشابهة للنيوكليتيدات تساعد على حدوث الطفرات بمعدلات مرتفعة عامة .

تتعرض الفيروسات لحدوث الطفرات فقط عندما تكون نامية بداخل خلايا العائل ؛ حيث أن الحمض النووى الموجود داخل جزيئات الفيروس الكاملة يكون محمياً من فعل معظم المواد المطفرة .

الطفرات والتأقلم الميكروبى :

من الممكن حدوث عملية النشوء والارتقاء كما أوضحها العالم دارون من خلال انتقاء طبيعى للطفرات بواسطة الوسط البيئى ومن خلال تبادل الجينات الذى يتم أثناء حدوث اتحادات وراثية جديدة - وذلك يتم بسرعة فائقة بالنسبة للكائنات الحية الدقيقة . وعلى الرغم من أن معدل حدوث الطفرات مماثل لما يحدث للكائنات الراقية ، إلا أن هناك العديد من العوامل التى تجعل التطور أسرع بالنسبة للكائنات الحية الدقيقة ومنها :

١ - تحتوى معظم الكائنات الحية الدقيقة سواء كانت بدائية أو حقيقية النواة على عدد أحادى من المجموعة الكروموزومية ، مما يجعل حدوث الطفرة لايتم حجبه بواسطة الجين الأليل .

٢ - نظرا لأن الكائنات الحية الدقيقة وحيدة الخلية ، فإن أى خلية يحدث لها طفرة ينشأ عنها فرعا وراثيا جديدا .

٣ - من الممكن أن تتواجد الكائنات الحية الدقيقة بكثافة عددية عالية نسبيا فى أوساط بيئية محددة للنمو ، مما يعطى فرصة جيدة لنمو وسيادة الطفرة فى مثل هذا الوسط البيئى المناسب لها .

٤ - تنمو الكائنات الحية الدقيقة بسرعة كبيرة كما أنها من الممكن أن تتعرض لضغوط انتخابية عالية . لذا عند تنمية أحد السلالات البكتيرية الحساسة للبنسلين على منابت محتوية على هذا المركب ، نجد أن الطراز البرى لايتمكن من النمو فى حين نجد أن أى طفرة مقاومة للبنسلين تتكاثر وبتحضينها حتى الصباح تكون مجتمع السيادة . بمعنى أن عملية التطور فيما يتعلق بخاصية المقاومة للبنسلين لاتستغرق سوى فترة قليلة بين عشية وضحاها .

ونتيجة لقدرة الكائنات الحية الدقيقة على سرعة التأقلم - خاصة بالنسبة للخلايا بدائية النواة - فإنها تتمكن من مواءمة نفسها لمجموعة كبيرة من التغيرات البيئية (انظر الفصل الخامس) . ومن النتائج المترتبة على ذلك والتى تؤدى إلى الارتباك أن مثل هذه الميكروبات يمكنها أن تتغير أثناء زراعتها على منابت معملية . فالظروف الموجودة فى مثل هذه المنابت المعملية غالبا ماتكون مختلفة لدرجة كبيرة عن الظروف الطبيعية التى تعيش فيها هذه الميكروبات ، وبتكرار زراعتها مرات قليلة على المنابت المعملية قد يكون كافيا

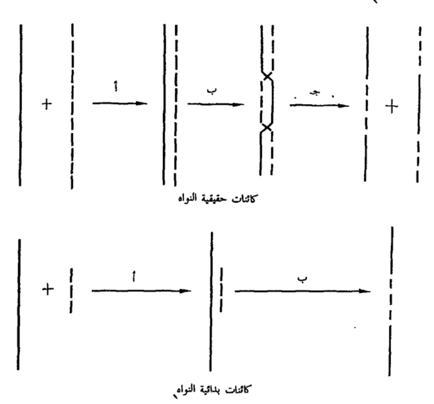
لانتخاب سلسلة من الطفرات التى تتواءم مع ظروف النمو تحت مثل هذه الظروف المعملية . ولقد تعرضنا فيما سبق لما يحدث لبكتريا Pneumococcus spp والتى تفقد فى وقت واحد كلا من مقدرتها على إحداث الالتهاب الرئوى وانتاج المواد المخاطيه المحيطة بالخلية (صفحة 131) ويفترض أن الخلايا غير المحاطة بكبسولة تنمو بصورة أفضل تحت الظروف المعملية فى حين أن الخلايا المزودة بالمواد المخاطية يتم انتخابها فى داخل خلايا الحيوان المصاب نظرا لأنها غير معرضة لعملية الالتقام (صفحة 54) . ويجب أن يوضع فى الاعتبار أن المستعمرة البكتيرية الواحدة تحتوى على أعداد كبيرة من الخلايا تصل إلى المائة مليون 10^8، وأن الخلية البكتيرية الواحدة تحتوى على 10^3 جين على الأقل والتى قد يتعرض كل منها لحدوث الطفرة بمعدل يقرب من 1×10^{-8} لذا فان المستعمرة الواحدة من البكتريا قد تحتوى على حوالى ألف طفرة على الأقل . بمعنى آخر نجد أن الحصول على المزرعة النقية لا يمثل إلا خيالا واهما مما يسبب الحيرة البالغة لعلماء الميكروبيولوجيا . حيث يعمل كل وسط بيئى معين على انتخاب الطفرات التى لها القدرة على النمو بمعدلات سريعة ، أو التى تموت بمعدلات أبطأ فى ظروف هذا الوسط والذى على أثره ممكن للمزرعة أن تظل فى حالة ثابتة ، وعلى الرغم من أن العديد من هذه التغيرات التى تحدث فى المنابت المعملية قد تكون محدودة وضئيلة ولاتؤدى إلى حدوث أية تغيرات واضحة ومميزة إلا أنها قد تكون هامة عند الرغبة فى تطبيق نتائج التجارب المعملية على مايتم من أحداث فى الأوساط البيئية الطبيعية . ولكن ما هى الوسائل التى يمكن اتباعها للحد من حدوث مثل هذا الانتخاب فى المعمل ؟ والإجابة أن كل ما يمكن عمله هو اختيار الظروف البيئية التى تحاكى بقدر الإمكان الظروف السائدة فى الطبيعة أملا فى الحد من هذه التغيرات ، وكحل بديل يجب بقدر الإمكان تجنب توالى زراعة الميكروب معمليا بحفظه فى حالة غير نشطة بطريقه التجفيد أو بحفظ الميكروب فى مزارع تحت درجة حرارة النتروجين السائل ، ولو أن الميكروبات ليست كلها قادرة على البقاء حية تحت مثل هذه الظروف .

الاتحادات الوراثية فى الكائنات الحية الدقيقة :

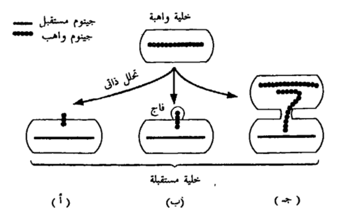
أولا – الاتحادات الوراثية فى الميكروبات بدائية النواة :

لقد لاحظنا أن التغيرات الوراثية التى تنتج عن حدوث الطفرات قد تؤدى إلى اكتساب صفات حيوية جديدة مما يسمح بحدوث تغيرات تطوريه ، ومع ذلك فإن

نشوء الكائن الحى الأكفأ فى وسط بيئى ما يمكن أن يساهم فى حدوثه انتقال الجينات فيما بين ميكروب وآخر ، وذلك عن طريق حدوث اتحادات وراثية جديدة . وتحدث مثل هذه الاتحادات الوراثية الجديدة فى الكائنات بدائية النواة بصورة أقل تطورا عن نظيراتها فى الكائنات الحقيقية النواة ، بالإضافة إلى أنها تحدث بطريقة متقطعة وعشوائية ؛ ولاتشتمل على اندماج شامل فيما بين جاميطات مذكرة ومؤنثة لتكوين زيجوت ثنائى المجموعة الكروموزومية . ولكن بدلا من ذلك يتم فى هذه العملية انتقال بعض الجينات من خلية واهبة ليحدث فى النهاية تضاعف كروموزومى غير كامل كما هو مبين فى شكل (٧ - ٢) . وتوجد ثلاثة طرق يتم بواسطتها انتقال الجزء من الحمض النووى DNA وذلك من الخلية الواهبة إلى الخلية المستقبلة : التحول الوراثى ، الاستقطاع ، التزواج (شكل ٧ - ٣) .



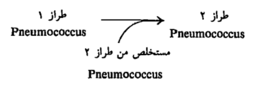
(شكل ٧ - ٢) عرض مبسط للاتحادات الوراثية التى تحدث فى كل من الكائنات الحية الدقيقة الحقيقية والبدائية النواة بالنسبة لأفراد المجموعة الأولى تجتمع مجموعتى الكروموزومات الاحادية - مجموعة من كل أب - فى النواة الثنائية المجموعة الكروموزومية (أ) وفى مراحل معينة قبل الانقسام الميوزى تحدث عملية العبور الوراثى فيما بين المجموعتين (ب ، جـ) ليتكون فى النهاية خلايا ذات مجموعة كروموزمية أحادية تتميز باعادة توزيع جيناتها . أما فى الخلايا بدائية النواة فترتبط قطعة من الحمض النووى DNAبالمنطقة المقابلة لها فى الخلية المستقبلة (أ) وينتج عن عملية العبور استئصال هذا الجزء المقابل من الحمض النووى .



(شكل ٧ - ٣) :
طرق حدوث الاتحادات الوراثية فى خلايا الكائنات الحية بدائية النواة (أ) التحول الوراثى ، (ب) الاستقطاع (ج) التزاوج .

١ - التحول الوراثى :

تم اكتشاف هذه الطريقة خلال أحد التجارب الهامة فى مجال البيولوجيا الجزيئية . فقد لاحظنا أن قدرة بكتريا .Pneumococcus spp على إحداث المرض ترتبط بمقدرتها على إنتاج كبسولة خارجية من عديدات السكر (صفحة 133) . ويتم تقسيم هذه البكتريا إلى العديد من الطرز التى تختلف تبعا للطبيعة الكيميائية لعديدات السكر المكونة للكبسولة ، وبالتالى بالنسبة للانزيمات المتخصصة فى تمثيل مثل هذه المركبات . ولقد وجد أنه من الممكن حدوث تحول وراثى لأحد طرز هذه البكتريا الى طراز ثان وذلك إثر إضافة المستخلص الناتج من مزرعة الطراز الثانى .



وقد تم تنقية المادة المسئولة عن حدوث هذا التحول الوراثى من المستخلص المسئول عن حدوث هذه العملية وتبين أنها الحمض النووى DNA وبهذا نجد أن الحمض النووى DNA للطراز رقم ٢ فى المثال المذكور قد وجد طريقة إلى داخل خلايا الطراز رقم ١ وأن الجينات المسئولة عن تمثيل مركبات عديدة السكريات بالكبسولة قد حدث لها اتحاد

وراثى أدى إلى إدخال جينات الطراز ٢ لتحل محل الجينات المقابلة فى الطراز ١ . وترجع الأهمية التاريخية لهذا الاكتشاف إلى كونها أظهرت بوضوح أن الحمض النووى DNA هو عامل التورث . بمعنى آخر أن الجينات تتكون من الحمض النووى DNA ولقد أكد ذلك ما اكتشف بعد ذلك من إمكانية تحول الجينات الأخرى لبكتريا Pneumococcus وبطريقة مماثلة ومع ذلك يبدو أن مثل هذه الطريقة مقصورة على عدد قليل من أجناس البكتريا ، ومن المحتمل أن يكون العامل الأساسى المحدد لحدوثها يرجع إلى صعوبة دخول جزىء كبير من الحمض النووى DNA إلى الخلية ووصوله إلى النواة . ومن الصفات الهامة التى يجب توفرها فى الخلايا التى يتم تحولها بهذه الطريقة هى إمكانية ارتباط الحمض النووى DNA بسطح الخلية ، وذلك قبل مروره إلى الداخل .

٢ – الاستقطاع :

تماثل هذه العملية التحول الوراثى للخلايا فيما عدا أن الجزء من الحمض النووى DNA الذى ينتقل من الخلية الواهبة إلى الأخرى المستقبلة محمولة بداخل أحد جزيئات الفاج ، حيث يقوم الفاج بمهاجمة الخلية الواهبة ، ثم أثناء مرحلة تجميع مكونات جزىء الفاج ونضجه يحدث إندماج لبعض جينات الخلية البكتيرية . وبدخول الحمض النووى غير الكامل لجزيئات الفيروس الجديدة إلى الخلية المستقبله يصبح غير قادرا على التكاثر الذى ينتهى بتحلل الخلية أو الدخول فى حالة ليسوجينى ولكن بدلا من ذلك يحدث اتحاد وراثى بين جينات البكتريا المنقولة وبين DNA الخلية المستقبلة .

٣ – التزاوج :

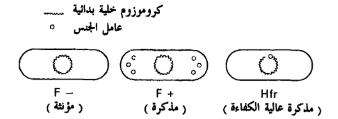
من الضرورى حدوث الاتصال بين الخلايا فى هذه العملية ، حيث ينتقل الحمض النووى من الخلية الواهبة أو الخلية « المذكرة » إلى الخلية المستقبلة أو « المؤنثة » من خلال زوائد (صفحة 42) تسمى « بالزوائد الجنسية » أو « زوائد F » والتى تعمل كمعبر بين الخلايا . فيمر الحمض النووى DNA من خلال التجويف الموجود فى مركز كل من هذه الزوائد ، حيث ينتج عن ذلك انتقال منظم للجينات طبقا لنظام ترتيبها على الكروموزوم ، ولو أنه من الناحية النظرية يمكن انتقال الكروموزوم كاملا ، إلا أن مثل هذا ربما لايحدث إلا نادرا من الناحية العملية . هذا بالإضافة إلى أحد الصعوبات التى تواجه عملية التزاوج والتى تتمثل فى الاختلاف الناشىء بينها وبين عمليتى التحول

الوراثى والاستقطاع التى يمكن خلالها لأى خلية بكتيرية أن تعمل نظرياً كواهبة أو مستقبله فى حين أنه بالنسبة للتزاوج فهناك بعض الخلايا التى تعتبر مؤنثة والبعض الآخر مذكره فيما يختص بكونها مستقبله للحمض النووى DNA أو مانحة له . والآن ما الذى يحدد هذه الصورة البدائية من التخصص الجنسى ؟ مما يساعد على إلقاء الضوء فى هذا الخصوص التجربتان التاليتان :

(أ) من الممكن أن تتحول خلية مؤنثة إلى مذكرة باحتكاكها بالخلية المذكرة ، حيث تشتمل هذه العملية على مرور عامل معد موجود فى الخلية المذكرة يطلق عليه « عامل الجنس » أو « العامل F » والذى يتكون أساسا من الحمض النووى DNA

خلية مؤنثة (F –) ←——— خلية مذكرة (+ F)
خلية مذكرة (+ F)

ومن المفترض أن يوجد هذا العامل F فى سيتوبلازم الخلايا المذكرة مثلما توجد الهيئة الجينية للفاج ، وفى النهاية نجد أن صفة الذكورة هذه فى البكتريا تشابه الإصابة المزمنة بالفيروسات .



(شكل ٧ – ٤) المراحل الجنسية المختلفة لخلايا الكائنات الحية الدقيقة بدائية النواة

(ب) من الممكن أن يحدث طفرة للخلايا المذكرة (F +) متحولة إلى خلايا مذكرة « أكثر كفاءة » والتى يرمز لها بالرمز (Hfr) مظهرة درجة عالية من الاتحادات الوراثية مع الخلايا المؤنثة . حيث يحدث فى مثل هذه السلالات اندماج العامل F داخل كروموزوم الخلية وبالتالى يتضاعف بدوره مع الانقسام النووى للخلية .

ويلخص الشكل ٧ – ٤ هذه المراحل المختلفة .

البلازميدات والاييزومات :

تتكون كل من الفاجات وعوامل الجنس من الحمض النووى DNA مع إمكانية تواجدهما فى إحدى الصورتين التاليتين :

١ – توجد على حالة مستقلة ويكون لها القدرة على التضاعف كما هو الحال بالنسبة للفاجات الفتاكة فى الخلايا البكتيريه المصابة أو مثل مايحدث فى الخلايا المحتوية على العامل (+ F) .

٢ – تواجدها على حالة مندمجة مع الهيئة الجينية للخلية كما فى حالة البروفاج (الفاج الأولى) الموجود فى خلية ليسوجينية أو بالنسبة للخلايا ذات الدرجة العالية من الاتحادات الوراثية (Hfr) .

ويطلق اصطلاح « الاييزومات » على مثل هذه العناصر من الحمض النووى DNA والتي توجد فى أى من الصورتين السابقتين . بالإضافة إلى ذلك هناك بعض العناصر الأخرى من الحمض النووى DNA والتى لاتتواجد إلا على هيئة مستقلة حيث لها القدرة على التضاعف متمشية مع أطوار انقسام الخلية وذلك كما لو كانت أحد الكروموزومات الثانوية غير الضرورية للخلية ويطلق على مثل هذه التراكيب اسم البلازميدات ؛ والتى تحتوى على جينات تعتبر غير ضرورية للمعيشة الطبيعية للخلايا ، والتى من أمثلتها الجينات المسئولة عن المقاومة للمضادات الحيوية المختلفة . وتمثل هذه البلازميدات تهديدا متزايداً لطرق العلاج الطبى بالمواد الكيميائية بدرجة أكبر من الطفرات التلقائية نظرا لأن انتقالها إلى أحد البكتريا الحساسة قد يؤدى إلى اكتسابها للمناعة ضد العديد من المضادات الحيوية المستعملة حاليا .

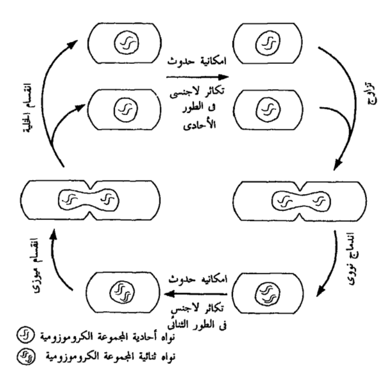
أهمية الاتحادات الوراثية للكائنات بدائية النواة :

السؤال المطروح الآن هو هل تعتبر هذه الاتحادات الوراثية للكائنات الحية هامة فى الطبيعة ؟ أم أنها مجرد مشاهدات وتجارب معملية ؟ ومن المؤكد أن عمليتى التحول الوراثى والتزاوج الوراثى تحدثان فى نطاق محدود بالنسبة للكائنات الحية بدائية النواة . ولكن من ناحية أخرى نجد أن الاستقطاع الوراثى أكثر شيوعا ، حيث أن معظم البكتريا معرضة للاصابة بالفاجات ، وبالتالى يتعرض العديد منها لعملية الاستقطاع ، ولكن يجب التيقن من أن بعض العمليات النادرة الحدوث نسبيا قد تكون ذات أهمية فيما يتعلق

بتطور السلالات المختلفة . والآن ما قيمة مثل هذه العمليات المختلفة من الناحية المعملية ؟ بلا شك أنها قد ساهمت فى التطور الكبير لعلم الوراثة الجزيئية ، حيث ساهمت فى عمل الخرائط الوراثية ليس فقط للجينات الموجودة على الكروموزومات ، ولكن أيضا فى تحديد التركيب الدقيق للجينات وعلاقة مثل هذا التركيب بجزىء الحمض النووى DNA ذاته .

ثانيا ــ الاتحادات الوراثية فى الكائنات حقيقية النواة :

تعتبر الاتحادات الوراثية الجديدة فى الكائنات الحية الدقيقة الحقيقية النواة عملية جنسية فى طبيعتها ، حيث تتضمن ما يحدث خلال الانقسام الميوزى من إنتاج الجاميطات المذكرة والمؤنثة آحادية المجموعة الكروموزومية وباندماج مثل هذه الجاميطات تتكون طرز جديدة ثنائية المجموعة الكروموزمية ، ويعتبر التبادل فيما بين الأجيال الأحادية والثنائية المجموعة الكروموزومية مميزا لمعظم الكائنات الحية الدقيقة حقيقية النواة على الرغم مما تظهره من اختلاف كبير فيما يتعلق بكل من درجة أهمية كل من هذه الأطوار الأحادية أو الثنائية المجموعة الكروموزومية بالنسبة للتكاثر الخضرى



(شكل ٧ – ٥) التبادل فيما بين أجيال الكائنات حقيقية النواة

وبمدى ماتظهر من درجة التمييز الجنسى . وعلى هذا فقد يكون الطور السائد فى الفطريات إما أحدى أو ثنائى المجموعة الكروموزومية ، أو قد يكون لكل منهما دورا متماثلا . وقد توجد أشكال مورفولوجية مميزة لكل من الأطوار المذكرة والمؤنثة ، أو قد يحدث التزاوج الجنسى بين خليتين متشابهتين ناتجتين من نفس المجموعة من الأفراد المتماثلة تماما من ناحية التركيب الوراثى (شكل ٧ ــ ٥)

منشأ الكائنات الحية الدقيقة وتطورها :

يميل الكثير من العلماء إلى الاعتقاد بأن صور الحياة المختلفة على وجه الكرة الأرضية ، قد نشأت أصلا من كائن حى بدائى اكتسب القدرة على التكاثر ذاتيا والتطور من حيث المنشأ . ويؤكد ذلك جليا التماثل بين الكائنات الحية عموما من الناحية الكيموحيوية والوراثية ، حيث تحتوى جميعها على نفس المجموعة من الأحماض الأمينية والنيوكليتيدات والتى يحدث لها عملية بلمرة متماثلة أساساً من حيث الميكانيكية والشفرة المسئولة . وعلى هذا إذا ما افترضنا منشأ جميع الكائنات الحية من « كائن حى دقيق » بدائى فما هى طبيعة مثل هذا الكائن ، طريقه تكونه وتطوره ؟ وهنا يكثر التخمين إلا أن هناك بعض الحقائق التى يجدر الإشارة إليها .

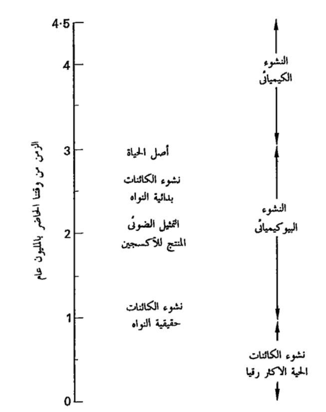
١ – يبلغ عمر الكرة الأرضية 4.5×10^9 عاما ، وقد وجدت فى المراحل الأولى العناصر المكونة للكائنات الحية على صور مختزلة . ولهذا كانت عناصر الكربون والأكسجين والنتروجين يغلب وجودها على هيئة ميثان وماء وأمونيا بينما كان يمثل الأيدروجين العنصر الأساسى فى الغلاف الجوى .

٢ – أظهرت التجارب المعملية التى أجريت تحت ظروف بيئية مختزلة ومماثلة بقدر الإمكان تواجد مركبات معينة فى مثل هذه الحقبة الزمنية (منذ 3×10^9 عاما) وتحت نفس الظروف منها السكريات ، الأحماض الأمينية ، قواعد البيورين والبيريميدين والأحماض الدهنية والتى تكونت جميعها بطرق كيميائية بحته ، حيث كانت الأشعة فوق البنفسجية هى المصدر الأساسى للطاقة لحدوث مثل هذه التفاعلات والناتجة من الشمس البالغة الشدة آنذاك نظرا للافتقار إلى وجود أشعة الأوزون الماصة لها فى طبقات الغلاف الجوى العليا .

$$NH_3, CH_4, H_2O \xrightarrow[\text{فوق البنفسجية}]{\text{الأشعة}} \text{مركبات عضوية}$$

وعلاوة على ذلك أوضحت التجارب المتتالية بعدئذ أنه من المحتمل أن تكون هذه الجزيئات العضوية قد تعرضت لعمليات بلمرة مكونة جزيئات أكبر حجما ، وهذا ما أطلق عليه بالنشوء الكيميائى ، والذى قد أدى إلى تراكم المركبات العضوية تدريجيا مكونه مايسمى « بالحساء الأولى للحياة » نظرا لعدم تواجد الكائنات الحية الدقيقة التى تستطيع تحليله .

٣ – من فترة ليست بالبعيدة كانت مجرد فكرة الحصول على حفريات للكائنات الحية الدقيقة تعتبر وهما إلا أن فحص القاعات الرقيقة للصخور فى وقتنا الحالى قد زودنا ببعض الأدلة الجيدة على وجود حفريات ميكروبية ترجع إلى 3×10^9 عاما مضت . بمعنى آخر أن الظروف فى مثل هذه الحقبة الزمنية من المحتمل أنها كانت ملائمة لنشأة الحياة وذلك من وجهة نظر النشوء الكيميائى الذى سبق وأن وصفناه . ويبدو أن مثل هذه الكائنات الحية الأولى كانت على صورة كائنات حية دقيقة بدائية النواة . أما الكائنات الحية الدقيقة المتطورة حقيقية النواة بما لها من جدر غير عضوية (مثل الدياتومات والفوراميينيفرا) فقد ظهرت منذ 1×10^9 عاما مضت .



(شكل ٧ – ٦) التصور المحتمل لنشأ الحياة وتطورها على وجه الكرة الأرضية

٤ – منذ حوالى 2×10^9 عاما مضت بدأ التحول فى الغلاف الجوى من الحالة المختزلة إلى المؤكسدة ، حيث بدأت السيادة لكل من غازى الأكسجين والنتروجين . ويعزى مثل هذا التغير بالتأكيد إلى نشوء الكائنات الحية الدقيقة التى لها القدرة على التمثيل الضوئى ، والتى تتبع غالبا الكائنات بدائية النواة مثل الطحالب الخضراء المزرقة . ويلخص الشكل (٧ ـــ ٦) السلم الزمنى لمراحل التطور المختلفة .

منشأ وتطور الكائنات الحية الدقيقة بدائية النواة :

من الصعب تخيل عملية التطور للكائنات الحية الدقيقة بدائيـــة النواة ومنشأها من الحساء الأولى للحياة على الرغم من تواجد الوقت الكافى لمثل هذه العمليات آنذاك . وبالتأكيد كانت المرحلة الأولى تتمثل فى نشوء غشاء شبه منفذ ليسمح بكل من التركيز والاحتفاظ بالجزيئات الأساسية للخلية . وفى الحقيقة كان من أحد الصفات التى تم التعرف عليها للمركبات عديدة البلمرة أثناء إجراء التجارب المعملية المتعلقة بالحساء الأولى ميلها لتكوين كريات غروية ذات أبعاد مماثلة للبكتريا ، والتى أظهرت بعض خصائص النفاذية الاختيارية ويبدو أنه من مثل هذه الكريات قد نشأت بعض الأنظمة التمثيليه ابسيطة التى تتميز باحتوائها على وحدات وظيفية لها القدرة على التكاثر والتوارث . وفى الحقيقة نحن لانعلم شيئاً عن حقبة النشوء البيوكيميائى ، هذا على الرغم من وجود العديد من الأفكار والتخمينات عن حتمية حدوثها وبالتالى حتمية تواجد كائنات مشابهة على كواكب أخرى . ومع ذلك فيمكننا وضع تخمينات معقوله لما تم من مراحل التطور المتتالية على هذا الكوكب الذى تتواجد به مثل هذه الكائنات الحية الدقيقة بدائية النواة والتى يمكن استعراضها فيما يلى :

- **المرحلة الأولى :** نشوء كائن حى غير ذاتى التغذية لاهوائى والذى يحصل على الطاقة اللازمة بواسطة عملية الفسفرة غيرالهوائيـــة (على مستوى مـــادة التفاعـل) وعلى احتياجاته الغذائية المعقدة من الحساء الأولـى .

- **المرحلة الثانية :** أدى انخفاض مستوى المواد الغذائية العضوية فى الوسط المحيط نتيجة لاستخدامها بواسطة الميكروبات النامية إلى احتمال نشوء مسارات جديدة للتمثيل الحيـوى مؤدية إلـى بساطة الاحتياجات الغذائية .

• **المرحلة الثالثة :** أدى نشوء نظام لانتقال الالكترونات الى احتمال حدوث عمليــة الحصول على الطاقة بواسطة الفسفرة التأكسدية والتى تعتبــر أكثر كفاءة ، ولكن مع الاعتقاد فى غياب الاكسجين يبدو أن حدوث التنفس اللاهوائى كان أكثر احتمالا .

• **المرحلة الرابعة :** احتمال تطور نظام انتقال الالكترونات المتكون فى المرحلة الثالثـة إلى آخر للحصول على الطاقة بواسطة عملية التمثيل الضوئـى خاصة بعد أن رأينا أن كلا العمليتين متشابهتين لدرجة كبيــرة . وفى النهاية هناك اعتقاد بنشوء عملية التمثيل الضوئى المنتجــة للأكسجين .

• **المرحلة الخامسة :** بداية ظهور الكائنات الحية غير ذاتية التغذية الهوائية وذلك مع تراكم الأكسجين فى الغـلاف الجوى بمثل هذه الطريقة تكون قد نشأت الكائنات الحية الدقيقة بدائية النواة مع إمكانيــة تطورها إلى الطرز العديدة التى نعرفها اليوم .

تطور الكائنات الحية حقيقية النواة :

سبق وأن ذكرنا أن هناك من الأدلة مايشير إلى أن الميتوكندريا قد نشأت من كائن حى دقيق بدائى النواة متطفل ، وإلى أن البلاستيدات أيضا يرجع منشأها إلى كائن حى دقيق بدائى النواة هوائى يحصل على الطاقة من عملية التمثيل الضوئى مثل الطحالب الخضراء المزرقة (صفحة 47) . وإذا كان الأمر كذلك فإن سلف الكائنات الحية حقيقية النواة فى أول نشأتها لابد وأن يكون أحد الكائنات الحية الدقيقة التى تحصل على الطاقة لاهوائيا وبواسطة عملية الفسفرة على مستوى مادة التفاعل من خلال الانحلال الجلايكولى وأن تعايشه مع الكائنات الحية الدقيقة البدائية النواه والمزودة بأنظمة ذات كفاءة عالية فى الحصول على الطاقة يعتبر مفيدا وأن مثل هذه العلاقة التكافلية قد تحولت فى الغالب إلى أخرى حتمية مؤدية إلى انتقال بعض وظائف النواة البدائية إلى نواة خلية العائل الحقيقية . ثم بالتدريج تطورت الكائنات الحية الدقيقة حقيقية النواة إلى مانعرفه الآن مع تزايد قدرتها فى الارتقاء لصور الحياة المتعددة الخلايا . وبهذا تكون قد نشأت الكائنات الحية الراقية على الرغم من كون الظروف البيئية مواتية فى نفس الوقت للكائنات الحية الدقيقة واستمرار تطورها .

الفصل الثامن

العلاقات بين الأحياء الدقيقة
والكائنات الحية الأرق

للكائنات الحية الدقيقة العديد من التأثيرات على الإنسان سواء كانت مباشرة أو غير مباشرة ، كما أن بعضها مفيد والآخر ضار . وكنتيجة لما أظهره العالم روبرت كوخ فى القرن الماضى من مقدرة الميكروبات على إحداث الأمراض للإنسان ، فقد ساد اعتقاد بكون الميكروبات ضارة بصفة عامة ، إلا أنه حديثا ظهر بعض الاهتمام صوب بعض التأثيرات الايجابية للميكروبات ، وسوف يعالج هذا الفصل والفصل الذى يليه التأثيرات المتعددة لهذه الميكروبات على الإنسان والمجتمع البشرى .

من الشائع فى الطبيعة أن ترتبط الكائنات الحية الدقيقة بطريقة أو باخرى بعائل ما ، حيث تدخل هذه الكائنات الحية الدقيقة فى علاقات مع غيرها من الكائنات الحية الدقيقة أو الحيوان أو النبات ، وكنتيجة لذلك تحصل على الحماية أو الغذاء اللازمين لها أو غيرهما من الفوائد ، [قد لايتأثر العائل من مثل هذه العلاقة (علاقة عدم التبادل) أو قد يستفيد منها (علاقة تبادل المنفعة) أو تلحق به بعض الأضرار (علاقة تطفل)] ، ولكن هنا يجب ملاحظة النقاط التالية بخصوص مثل هذه العلاقات :

١ – يمكن أن نقول أن وجود مثل هذه العلاقة الوطيدة لايمكن أن لايتأثر بها العائل ، وبالتالى يصبح الاصطلاح « عدم التبادل » لامعنى له إلا من ناحية أنه مسألة نسبية .

٢ — قد تكـون الحدود فيما بين العلاقة المؤدية إلى تبادل المنفعة وعلاقة التطفل غير واضحة ومحددة . وبالفعل فإن بعض علماء البيولوجى يستخدمون اصطلاح « العلاقة

التكافلية » بمفهومها الأساسى وهو « التعايش معا » ، ثم بعد هذا تقسم هذه العلاقة إلى مايسمى بعلاقة تبادل المنفعة (علاقة تكافلية) وعلاقة التطفل . ويندرج تحت علاقة تبادل المنفعة نوعان من العلاقات إحداهما منفعة تبادلية داخليه ، حيث يعيش أحد الكائنين المتبادلين بداخل خلايا أو أنسجة الكائن الآخر ، أو منفعة تبادلية خارجية حيث يعيش كل من الكائنين المتعايشين منفصلين عن بعضهما . ومع ذلك فإن ضيق الأفق فى هذا الخصوص قد يؤدى إلى تجزئة العلاقة الناشئة فيما بين الكائنات الحية ، مما قد يعطى أفكارا مزيفة عن العلاقات البيئية الناشئة فى الطبيعة . وعموما فى هذا الكتاب سوف يقتصر استخدام اصطلاح المنفعة المتبادلة وعلاقة التطفل على مفهومها الواسع والشامل .

٣ – يبدو لزاما تقدير المميزات التى تحصل عليها الكائنات الحية الدقيقة عند ارتباطها بأحد العوائل ، وذلك على مستوى مجموعة الأفراد عامة وليس بالنسبة للفرد الواحد .

تبادل المنفعة :

لكى نوضح التدرج من علاقة عدم التبادل حتى علاقة تبادل المنفعة ، فإنه يلزم الحديث عن كل من القناة الهضمية للثدييات وجذور النباتات .

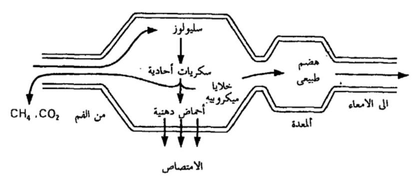
الكائنات الحية الدقيقة والقناة الهضمية للحيوانات الثدية :

تتركز معظم الكائنات الحية الدقيقة الموجودة فى القناة الهضمية للثدييات فى كل من الامعاء الدقيقة والغليظة ، وتعتبر الحموضة العالية فى المعدة كافية للحد من نمو بل وموت معظم الكائنات الحية الدقيقة ، ولو أن القليل من أنواع البكتريا المقاومة للحموضة ، قد تتمكن من استيطان جدر المعدة ولكن تأثيراتها على العائل غير معروفة حتى الآن . وبالاتجاه صوب الأمعاء الدقيقة فالغليظة وبقية الأحشاء تتزايد أعداد الميكروبات إلى درجة أنها قد تكون مايعادل ثلث وزن المواد البرازية . لذا بطريقة أو بأخرى نجد أن القناة الهضمية للحيوان تماثل المزرعة المستمرة ؛ حيث يعتبر فم الحيوان هو مدخل الغذاء وفتحة الشرج هى نقطة الخروج .

والآن ماهى هذه الميكروبات المعوية وما تأثيرها ؟ من الملفت للنظر أن غالبية هذه الميكروبات لم يتم تنميتها معمليا إلا حديثا ، وقد كان معتقدا أن معظمها لاهوائية اختيارا

مثل E. coli التى تحظى بقدر من الشهرة لاستخدامها بواسطة المشتغلين فى مجال الميكروبيولوجيا كدليل على التلوث البرازى لمياه الشرب ، حيث أن اعدادها فى وحدة الحجم من المياه يعد دليلا مقبولا للحكم على امكانية حدوث التلوث . ولكن اتضح الآن أن معظم ميكروبات القناة الهضمية تعتبر لاهوائية حتما ويعمل على قتلها وجود كميات محدودة من الأكسجين الذى غالبا ما تتوفر تحت ظروف التنمية العادية فى المعمل ، لذا يلزم استخدام طرق متخصصة لعزلها وتنميتها . وتعتمد هذه الميكروبات اللاهوائية حتما على الميكروبات اللاهوائية اختيارا فى استهلاك ما يوجد من أكسجين فى الوسط المحيط . وعلى الرغم من أننا نعرف الكثير عن طبيعة معظم ميكروبات القناة الهضمية للحيوانات ، إلا أن مدى تأثيرها على العائل ذاته غير واضح تماماً . فعلى الرغم مما كان معتقد فيه سابقا بأن هذه الميكروبات تدخل فى علاقة عدم التبادل مع الحيوان ، إلا أن هناك من الأدلة الحديثة التى تخالف ذلك حيث وجد أن بعض « الحيوانات المعقمة » وهى التى يمكن تربيتها وهى خالية تماما من الميكروبات تنمو نموا غير طبيعى كما أنها تتميز بضعف جهازها المناعى ، وتأخذ قناتها الهضمية شكلا غير طبيعى أيضا بالإضافة إلى أنه يلزم لها توفر احتياجات غذائية عديدة بالمقارنة بالحيوانات الطبيعية المنشأ . وقد تلاحظ مثل هذه التأثيرات بالنسبة للانسان كما هو فى حالة الأفراد الذين يتم معالجتهم بالمضادات الحيوية الواسعة المفعول ، حيث تعمل على قتل معظم ميكروبات القناة الهضمية ، مما قد يدفع الميكروبات غير المرضية المتبقية إلى إحداث حالات مرضية خطيرة . من هذا يتضح أن ميكروبات القناه الهضمية تلعب دوراً مفيداً ، مما يوصى بعدم التخلص منها .

ومن أشهر الأمثلة الأخرى على علاقة المنفعة المتبادلة كرش الحيوانات المجترة آكلة العشب مثل الأبقار والأغنام والماعز والتى تستخدم السليولوز كمصدر غذائى رئيسى ، حيث لايمكن هضم السليولوز فى معدة الحيوان العادية إلا أن القناة الهضمية للحيوانات المجترة تشتمل على منطقة معينة لهذا الغرض ، وهو مايسمى بالكرش الذى يعد كوعاء كبير للتخمير (يبلغ حجمه حوالى 100 لتر فى الأبقار) والذى تدخله الأجزاء النباتية الممضوغة ؛ حيث يتم هضمها بواسطة مجموعة كبيرة من الميكروبات المتعاونة ؛ حيث تقوم بالتحليل المائى للسيلولوز وغيره من السكريات العديدة إلى مكوناتها الأولية من السكريات الأحادية ، والتى يتم تخميرها بعد ذلك إلى أحماض دهنية بسيطة ، وغازى الميثان وثانى أكسيد الكربون ، حيث تمتص الأحماض الدهنية البسيطة من جدر الكرش ، ويستخدمها الحيوان كمصدر للكربون والطاقة فى حين تمر الخلايا الميكروبية



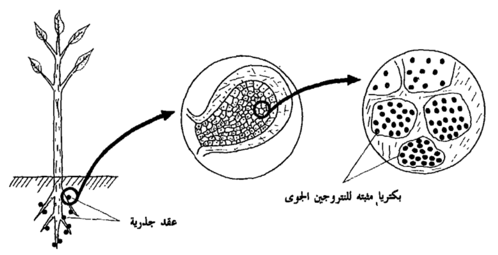
(شكل ٨ – ١) رسم تخطيطى يوضح التمثيل الغذائى فى الكرش

إلى المعدة ليتم هضمها بالطرق المعتادة وتمد الحيوان بالعناصر الغذائية الأخرى (مثل الفيتامينات والعديد من البروتينات) اللازمة للنمو . ويلخص الشكل (٨ – ١) هذه العملية ، ومن المدهش حقا الشبه الكبير فيما بين الكرش والتخمر الحادث فى المزارع المستمره للميكروبات بل أن معظم الأجهزة العلمية المصممة لهذا الغرض مثل الكيموستات تعمل على محاكاة الوظيفة التى يقوم بها الكرش .

الكائنات الحية الدقيقة وجذور النباتات :

فى العادة لاتقوم أوراق وسيقان النباتات السليمة بتوفير الوسط الملائم لنمو الميكروبات بأعدادها الكبيرة . فى حين نجد أن الجذور وما يحيط بها من التربة التى يطلق عليها منطقة الريزوسفير ، يتوفر بها العناصر الغذائية اللازمة لنمو الميكروبات والناتجة عن إفرازات نباتية وحيث لاتتقلب الظروف وتتغير بدرجة مشابهة لما يحدث فوق سطح التربة . لذلك فإن أعداد الكائنات الحية الدقيقة تبلغ فى هذه المنطقة عدة مرات أضعاف اعدادها فى التربة البعيدة عن تأثير الجذور . وحتى الآن لم يعرف الدور الكامل لميكروبات الريزوسفير وتبدو كما لو أنها فى علاقة عدم تبادل مع النباتات . إلا أن هناك بعض العلاقات المحددة التى قد تنشأ فى هذا الخصوص كما هو الحال بالنسبة للفطريات التى تغلف جذور النباتات بل وتخترقها فى بعض الأحيان والتى تسمى بفطريات الميكورهيزا . حيث تساعد هذه الفطريات النبات فى النمو خاصة فى الأراضى الفقيرة ، حيث تعمل على امتصاص العناصر الغذائية الأساسية عن طريق زيادة أسطح الامتصاص . ولقد لوحظ زيادة نمو أشجار الغابات نتيجة لدخولها مع الفطريات فى مثل

هذه العلاقة التكافلية . ومن الأمثلة الصارخة فى هذا المجال العلاقة التكافلية التى تنشأ بين بكتريا جنس Rhizobium والنباتات البقولية (فول ، برسيم ، بسلة ...) فتصيب البكتريا النباتات عن طريق الشعيرات الجذرية حيث تخترق أنسجتها وتصيب بعض خلايا الجذر الداخلية .



(شكل ٨ ١)

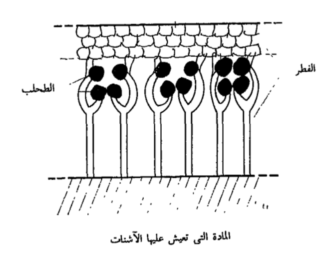
تثبيت النتروجين الجوى تكافليا حيث يلاحظ تكون العقد الجذرية على النبات وأيضا مستويات لتكبير قطاع عرضى فى عقده جذريه .

وتنمو بداخلها ، مما يؤدى إلى تضخم الخلايا وانقسامها مكونة فى النهاية ما هو معروف بالعقد ، حيث تحتوى كل عقده على مايزيد على ألف مليون خلية بكتريا الريزوبيوم (شكل ٨ — ٢) . وترجع أهمية هذه العلاقة إلى القدرة المشتركة للنباتات والميكروبات على تثبيت النتروجين الجوى (انظر صفحة 113) . ويعتبر هذا النموذج لعملية تثبيت النتروجين الجوى تكافليا فى غاية الأهمية بالنسبة للزراعة حيث أن عنصر النتروجين ووجوده بتركيزات مناسبة فى التربة يعتبر من أهم العناصر الغذائية المحددة لنمو النباتات . وتستطيع المحاصيل البقولية مثل البرسيم تثبيت كميات كبيرة من النتروجين الجوى تعادل 350 كجم للهكتار فى الوقت الذى تقوم الميكروبات التى تعيش على حالة حرة فى التربة بتثبيت مايقرب من 5 كجم فى المناطق الباردة ، أو مايعادل 60 كجم للهكتار كما هو بالنسبة للطحالب الخضراء المزرقة فى أراضى المناطق الاستوائية . وسوف يناقش الفصل التالى أهمية عملية تثبيت النتروجين الجوى بالنسبة لدورة النتروجين بصفة عامة .

علاقات المنفعة المتبادلة فيما بين الكائنات الحية الدقيقة :

من أهم أمثلة علاقات المنفعة المتبادلة بين الكائنات الحية الدقيقة ، مايعرف بالآشنات حيث تعيش الفطريات بمصاحبة الطحالب ، وتسود هذه التركيبات الآشنية فى الأوساط البيئية الفقيرة ، وحيث لاتظهر أى صورة من صور الحياة الأخرى مثل أسطح الصخور وجذوع الأشجار . وينتج عن هذا الارتباط تحور كل من الفطر والطحلب حيث تنتج تركيبات معقدة ، يتكون معظمها من هيفات الفطر التى تحيط وتتغلغل طبقات الطحلب ذاته (شكل ٨ — ٣) . ويستطيع كلا الفردين المتعاونين الانفصال والمعيشة بصورة مستقلة ، ثم يدخل كل منهما فى العلاقة التعاونية فقط عند تغير الظروف إلى ما هو أسوأ ، وحيث لا تعتبر ملائمة لنمو كل منها على حدة . وتشمل الظروف المعاكسة اللازم توفرها تحت الظروف المعملية والتى قد تماثل الأوضاع البيئية التى تتكون عندها الاشنات نقص المواد الغذائية ، الرطوبة الزائدة والجفاف الشديد على وجه الخصوص .

وفى علاقة المنفعة المتبادلة فى حالة الاشنات يعمل الطحلب على امداد الفطر بالمواد العضوية الناتجة عن قيامه بعملية التمثيل الضوئى ، فى حين أن الفطر يعمل على الحماية الفيزيائية للطحلب . وتتميز الاشنات بمقدرة خاصة على استخلاص المواد الغذائية وانتزاعها من الوسط المحيط ثم تركيزها مما يؤدى إلى إمكانية استخدام هذه الاشنات كأدلة حساسة لتلوث الهواء ، حيث وجد أن معظم أنواع الاشنات تُقْتل بفعل ملوثات الهواء السامة مما يجعلها غير قادرة على النمو فى المناطق الصناعية .



(شكل ٨ — ٣) قطاع يوضح التركيب الداخلى للأشنات

التطفل :

ينشأ نتيجة لعلاقة التطفل فيما بين الكائنات الحية الدقيقة والكائنات الراقية دورة مميزة . حيث يخترق الطفيل العائل من خلال مناطق دخول معينة ، ينتج عن هذا الدخول استقرار الطفيل وتكاثره داخل العائل ثم بعد ذلك يحدث انطلاق لخلايا الطفيل – أيضا من خلال مناطق خروج محددة – لإصابة عوائل أخرى جديدة . ولكى نتعرف على العوامل التى تؤثر على مثل هذه العلاقة سوف نتعرض لبعض الأمثلة الواضحة بالنسبة لعدوى الحيوانات حيث تتوفر المعلومات الكثيرة عنها وعن طرق الحماية منها . ولكن يجب ألا يفسر مثل هذا الاختيار بعدم أهمية العلاقات المرضية الأخرى التى يمكن أن تحدث والتى قد يكون لها تأثيرات بيئية واقتصادية هامة .

١ – اختراق العائل :

أعدت النباتات والحيوانات أسطحها الخارجية لتكون حاجزا منيعا ضد نفاذ واختراق كائنات أخرى إلا عند تكسرها نتيجة للجروح الناشئة بها ، أو نتيجة للذعات البعوض كأسلوب متخصص ، ومع ذلك فهناك مناطق بجسم العائل تعتبر أقل حماية ومنفذا سهلا للطفيليات . وتتخصص الكائنات الحية الدقيقة فى طريقة اختراقها لأجسام الحيوانات ، فمنها الذى يصيب القناة الهضمية أو الجهاز التنفسى أو المسالك البولية . أما فى حالة النباتات فإنه يتم اختراقها عن طريق الثغور والعديسات .

٢ – التكاثر :

بمجرد دخول الميكروب إلى المنطقة المناسبة من العائل وبشرط عدم قتله نتيجة لوسائل العائل الدفاعية فإنه يبدأ فعلا فى التكاثر . وتتمثل قدرة الطفيل على إحداث المرض فى مقدرته أولا على اختراق العائل ثم التكاثر فور دخوله مسببا بعض التغيرات الفسيولوجية والتشريحية المميزة للمرض . وتعتبر هذه القدرة على إحداث المرض غاية فى التخصص بالنسبة للعائل المصاب ، لهذا فإن معظم الأمراض التى تصيب الحيوانات المنزلية والمستأنسة لاتنتقل إلى الإنسان والعكس صحيح ، والقليل منها الذى قد ينتقل فعلا يؤدى إلى حدوث صورة مخففه من المرض ، وقد استغلت مثل هذه الظاهرة فى التطعيم ضد الأمراض المختلفة ومنها مثلا مرض الجدرى ، وذلك باستخدام أحد الفيروسات الشبيهة والتى تصيب الأبقار (جدرى الأبقار) وتقاس القدرة على إحداث

المرض بما يسمى بدرجة الضراوة . وقد لايحتاج ميكروب ذو قدرة كبيرة على إحداث المرض إلا لخلية واحدة لإحداث العدوى ، فى حين قد تحتاج غيره من الميكروبات الممرضة إلى الدخول إلى داخل خلايا العائل بعدد كبير من الخلايا . وفى الوقت الذى تستخدم فيه المقدرة على إحداث المرض للتفرقة فيما بين الأنواع فإن درجة ضراوة الميكروب تستخدم عادة للتمييز بين سلالات النوع الواحد . ومن الممكن أيضا الحصول على طفرات ميكروبية تختلف فى درجة قتلها للعائل ، حيث تستخدم مثل هذه الطفرات فى التعرف على الأسس الفيزيائية لدرجة الضراوة عند مقارنتها بخصائص الطرز البرية ، كما أنها مهمة أيضا نظرا لأن الطرز التى ليس لها القدرة على الفتك تستحث الجهاز المناعى للعائل ممايؤدى إلى بناء المناعة ضد المرض دون ظهور أية أعراض خطيرة ، وبهذا يمكن استخدام هذه الطفرات كطعوم حية . وعادة ما يقتصر تكاثر الطفيل على مناطق معينة فى العائل ، فمثلا نجد أن الميكروب الذى يسبب مرض الحمى المتموجة فى الأبقار يفضل النمو فى جنين ومشيمة الأبقار الحوامل ، ويرجع السبب فى مثل هذا التحديد داخل العائل المصاب إلى أن هذه البكتريا الممرضة تنشط بدرجة واضحة فى وجود مادة الاريثريتول التى تعتبر من السكريات التى لاتوجد إلا فى الأنسجة التى لها علاقة بالجنين . ومع ذلك فإنه فى معظم الأحوال لا تعرف الأسباب وراء تمركز الإصابة داخل العائل ، وقد تؤدى الأبحاث التى تجرى فى هذا المجال مستقبلا إلى التوصل إلى بعض الأدلة التى تساعد على مقاومة العدوى بالأمراض المختلفة

عادة لاتنشأ أعراض المرض ببساطة عن تواجد الميكروب وخلاياه بكتلة كبيرة أثر تكاثره رغم أن هذه الأعداد قد تتكون بكميات هائلة كما هو الحال فى رئة الشخص المصاب بالالتهاب الرئوى ، ولكن غالبا ماتنشأ عن المواد التى يقوم بإنتاجها الميكروب المعدى مثل التوكسينات ، حيث تفرز هذه المواد دائما خارج خلية الميكروب ، ولو أن بعض المواد المكونة لجدر الخلايا مثل السكريات الليبيدية العديدة الموجودة فى جدر البكتريا السالبة لجرام تعتبر سامة فى حد ذاتها . وتعتبر اغلب السموم الميكروبية شديدة السمية عند توفرها بكميات قليلة كما أنها من أكثر المواد القاتلة والفتاكة المعروفة حتى الآن . فعلى سبيل المثال نجد أن ملليجرام واحد من توكسين التسمم البوتيولينى يكفى لقتل مليون أو أكثر من حيوانات التجارب مثل خنازير غينيا ، وليس من الضرورى حدوث العدوى بواسطة أعداد ضخمة من الميكروبات لكى تحدث الوفاة . كما أنه لسوء لحظ فإن مثل هذه التوكسينات تمثل خطراً كبيراً على البشرية إذا ما استخدمت كأداة فى لحرب البيولوجية . وعلى الرغم من أهمية التوكسينات الميكروبية إلا أنه لم يعرف طريقة

عملها إلا حديثاً ، فالبعض منها يعتبر إنزيمات قد تحلل على سبيل المثال كرات الدم الحمراء (توكسينات الهيموليسين) ، أو ترتبط بدرجة متخصصة مع بعض مكونات الخلية الضرورية مثل ما يحدث فى حالة توكسين الدفتريا الذى يثبط من انتقال الأحماض الأمينية من الحمض النووى RNA إلى السلسلة الببتيدية المتكونة أثناء تخليق البروتينات .

قد يؤدى نمو خلايا الميكروب الممرض نفسه إلى وفاة العائل ، ولو أن الطفيل الكفء – من وجهة النظر البيئية – هو الذى يعمل على استمرار العلاقة بين الطفيل والعائل على المدى الطويل وبذا يكون مفيدا للطفيل أن تنشأ حالة من الاتزان مع حدوث أضرار طفيفة للعائل الذى يستمر فى الحياة ويعمل على انطلاق الطفيل باستمرار الذى يعاود الكرة ويعمل على إصابة عوائل جديدة . فعلى سبيل المثال نجد أن الإنسان الحامل لميكروب التيفويد قد لاتظهر عليه أعراض مميزة للمرض ، ولكنه فى نفس الوقت يفرز بكتريا التيفويد ولفترات طويلة ، وبالتالى يكون مصدراً متجددا للعدوى مما يسبب مشاكل خطيرة للمسئولين المعنيين بالقضاء على هذا المرض .

٣ – الانطلاق :

تنطلق الميكروبات الممرضة من العائل المصاب ويحدث هذا عادة فى أماكن محددة ، والتى تعتبر مميزة لكل مرض على حدة ، والتى قد لاتكون بالضرورة هى نفس مناطق الاختراق أو تكاثر الميكروب ، وقد يحدث الانطلاق فى حالة الحيوانات من خلال الجهاز التنفسى على صورة قطيرات (عند السعال أو العطس) أو القناه الهضمية (فى البراز) أو البولية أو الجلد .

٤ – الانتشار :

هناك العديد من الطرق التى يتم بواسطتها انتشار الميكروبات الممرضة من عائل لآخر ، والتى منها الاتصال المباشر كما هو الحال بالنسبة للأمراض التناسلية او الانتقال بواسطة الهواء المحمل بالقطيرات أو الغبار أو الجراثيم كما هو الحال بالنسبة لأمراض الجهاز التنفسى المعدية أو الامراض الفطرية التى تصيب النباتات . والكثير من الأمراض المعدية تنتقل بواسطة المياه أو قد تنتشر بواسطة الغذاء . كما أن الحشرات قد تكون ناقلة لبعض الأمراض وتعتمد طريقة انتقال العدوى على مقدرة الميكروب المسبب على المعيشة والبقاء حيا خارج العائل . ومن الأمثلة الواضحة على عدم المقدرة على التواجد خارج خلايا

العائل والبقاء حيا ما يحدث بالنسبة للميكروب المسبب للمرض التناسلى المعروف بالزهرى، وعلى العكس من ذلك تماما الميكروبات المتجرثمة ومثال ذلك ماعرف عن جزيرة جرونارد القريبة من الساحل الاسكتلندى ، والتى مازال يتواجد بها جراثيم الميكروب المسبب لمرض الجمرة الخبيثة ، والتى أدخلت الى الجزيرة فى أثناء اجراء بعض الدراسات التجريبية عام 1943 . وقد يستلزم انتشار المرض حدوث تكاثر له فى الاعداد كما هو الحال بالنسبة للميكروبات المنقولة بواسطة الغذاء أو الحشرات ، لدرجة أن هناك بعض الميكروبات الممرضة التى تتكاثر بصفة عادية خارج خلايا العائل والصدفة البحتة هى التى تؤدى إلى انتقالها للعائل وإصابته .

ويلزم للقضاء على مرض ما ضرورة التدخل فى أحد الأطوار الأربعة السابقة والممثلة لدورة حياته . ولكن لسوء الحظ ليس من أهداف هذا الكتاب معالجة مثل هذه المراحل بالتفصيل ، ولكن سوف نقتصر فى المناقشة التالية على بعض الأحداث الهامة التى تتم بداخل العائل .

المقاومة للعدوى :

تعتبر أنسجة وسوائل الحيوانات – وبدرجة أقل النباتات ـــ وسطاً غذائيا مثاليا لنمو الميكروبات والذى قد يستمر بسرعة فائقة ودون توقف إذا لم تعترضه أية عوائق . ولكن كيف تتمكن الكائنات الحية الكبيرة من المقاومة والبقاء حية مع استمرارها فى التطور ؟ لعل السبب وراء ذلك يرجع بلا شك إلى تمكنها من مقاومة عدوى الأمراض ، وعلى الرغم من أن سبل المقاومة تعتبر مميزة بالدرجة الأولى للعائل إلا أن دراستها والتعرف عليها ارتبط دائما لأسباب تاريخية بتطور علم الميكروبيولوجيا . وتأخذ مقاومة الكائن الحى للعدوى إحدى الصورتين التاليتين : فقد تكون من النوع غير المتخصص حيث أنها تحدث فى عوائل لم يسبق لها الإصابة بنفس المرض وهى التى يطلق عليها بالمقاومة الطبيعية الفطرية أو التكوينية ، وقد تكون مقاومة مستحثة داخل العائل نتيجة لوجود الميكروب المسبب للمرض .

١ – المقاومة الفطرية أو التكوينية :

دائما ما يقال بأن أسطح كل من النباتات والحيوانات تعمل كعائق أولى ضد اختراق الميكروبات . ولكن إذا ما حدث الاختراق فعلاً فإن الميكروبات تواجه بأنواع مختلفة

من طرق المقاومة ، حيث قد تنتج بعض المواد غير المتخصصة والمضادة لنمو الميكروبات والتى من أمثلتها أنزيم الليزوزيم (انظر صفحة 27) الموجود فى الإفرازات الطبيعية لأعضاء الحيوان المختلفة ، فى حين أن النباتات تفرز مضادات ميكروبية فينولية . ولكن من أهم طرق المقاومة التكوينية فى الحيوانات هى الفعل الالتقامى . ويوجد هناك عدة مراحل متسلسلة للالتقام تبدأ بخلايا اللاقمات الكبيرة فور اختراق الطفيل للعائل ، ثم خلايا الدم البيضاء المتعددة الأنوية والمرتبطة بالعقد الليمفاوية الموجودة فى منطقة الإصابة الملتهبة ، وفى النهاية تنشط خلايا الجهاز الشبكى البطانى فى التقام ما تبقى من خلايا . ويلى عملية الالتقام تحلل للخلايا التى تم التقامها ، ولو أن هناك بعض الخلايا الميكروبية التى قد تقاوم ذلك . كما أن هناك البعض الذى يعتبر منيعا ضد عملية الالتقام (كما فى حالة بكتريا الالتهاب الرئوى المحاطة بالكبسولة) . والبعض الآخر قد يُلْتقَم ولكنه لا يتأثر بالأنزيمات المحللة الموجودة فى الخلايا اللاقمة بل قد تنشط خلايا الميكروب داخل هذه الخلايا كما فى حالة العصويات المسببة لمرض السل ، وقد يفرز بعضها مواد تسمى الليكوسيدين تعمل على قتل الخلايا اللاقمة . وهناك مقاومة فريدة فى نوعها تحدث عند الإصابة بالفيروسات حيث تعمل الخلايا على إنتاج بروتين متخصص يسمى الانترفيرون تحول دون استمرار العدوى الفيروسية وذلك بأتباع أسلوب غير متخصص .

مما سبق يتضح أن هناك العديد من سبل الدفاع ضد الكائنات الحية الدقيقة الممرضة ، وأن مدى إمكانية الميكروبات فى التغلب على وسائل الدفاع المختلفة يحدد قدرتها على إحداث المرض والفتك بالعائل فى النهاية .

٢ – المقاومة المستحثة – المناعة :

يوجد فى الحيوانات خط دفاع ثانى ضد العدوى إذا ما نجحت الميكروبات المسئولة فى توطين نفسها بالعائل ، حيث يستحث الميكروب خلايا العائل لتكوين بروتينات خاصة تسمى الأجسام المضادة التى تتحد مع الميكروبات وتجعلها أكثر حساسية للتحلل والالتقام . ويعتبر إنتاج مثل هذه الأجسام المضادة جزء من الظاهرة العامة التى تستطيع بواسطتها الكائنات الحية التفاعل عند وجود أجسام غريبة بداخلها ، يطلق عليها بالأجسام المولدة للمناعة ، وهى لاتختلف كثيرا عن تكوين الأنزيمات المستحثة تحت تأثير بعض المواد المحثة على ذلك . وتعرف دراسة الاستجابة المناعية فى الكائنات الحية بعلم المناعة ، والذى يعتبر ذو أهمية بالغة من الناحية الطبية والبيولوجية عامة . والآن لنتكلم

بشيء من التفصيل عن كل من الأجسام المضادة والأجسام المولدة لها والتفاعلات المتتابعة بينهما .

مولدات المناعة

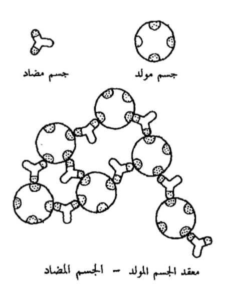
تستطيع مختلف أنواع المواد العمل على حث إنتاج وتخليق أجسام مضادة متخصصة ، بمعنى آخر أنها تستطيع أن تعمل كمولدات للأجسام المضادة . وتتميز هذه المواد عموما بأنها عديدة البلمرة ذات وزن جزيئي مرتفع مثل البروتينات وعديدات السكر ، وعلى أسطح مثل هذه الجزيئات الكبيرة توجد مناطق معينة تسمى المجاميع المحددة لتوليد الأجسام المضادة ، والتي تتفاعل بطريقة متخصصة مع الأجسام المضادة المتكونة . فيحتوى جزىء البروتين على مايعادل المائة من مثل هذه المجاميع تقابل نظام ترتيب الأحماض الأمينية الموجودة فى جزئ البروتين . وعلى العكس من ذلك نجد أن المواد ذات الوزن الجزيئى المنخفض لاتعتبر مولدة للأجسام المضادة ، ولكنها قد تكتسب هذه المقدرة عند اندماجها فى أحد الجزيئات الكبيرة . ومن أهم ما يميز القدرة على توليد الأجسام المضادة ، هو التخصص الشديد الذى تتمتع به الأجسام المضادة المتولدة ، لدرجه أنه يمكن التفرقة بواسطتها فيما بين جزيئات البروتين التى قد لاتختلف عن بعضها إلا فى حمض أمينى واحد أو اثنين . وبلا شك فإن درجة التخصص هذه تماثل التخصص الناشيء فيما بين الأنزيمات والمواد التى تنشط عليها ، حيث تحدث رابطة لاتشاركيه فيما بين الجسم المضاد والجسم المولد له ناشئة عن التكامل الشديد فيما بين الأسطح المتفاعلة بصورة متماثلة لما يحدث بين القفل والمفتاح .

الأجسام المضادة

الأجسام المضادة عباره عن بروتينات تتواجد فى الجلوبيولين الذى يعتبر أحد مكونات سيرم الدم . ونظراً لأن أى بروتين والكثير من عديدات السكر التى تحقن فى الحيوان يمكنها الحث على إنتاج أجسام مضادة معينة كما أن العديد من المواد المنتجة صناعيا فى المعمل قد تتميز بقدرتها على حث عملية تكوين الأجسام المضادة فإن الحيوان الواحد يستطيع أن يكون العديد من الأجسام المضادة والتى قد يصل عددها إلى مليون جسم مضاد . ويتركب جزىء الجسم المضاد من منطقتين متخصصتين تتصل فيما بينهما بواسطة منطقة غير متخصصة تتماثل من ناحية التركيب فى جميع الأجسام المضادة

المتكونة . والمناطق المتخصصة هى التى تتحد فعلا مع الجسم المولد للمناعة لذا فإن الجسم المضاد يتفاعل كما لو كان جزىء ثنائى التكافؤ ، وحيث تعتبر هذه الخاصية هامة فى تفاعلات الترسيب أو التلازن .

ومن الأمور الهامة المحيرة بخصوص المناعة هى هذه المقدره الفائقة للحيوانات على إنتاج العديد من هذه البروتينات المختلفة على الرغم من أوجه التشابه فيما بينها من الناحية التركيبية . ويفسر ذلك إحدى النظريات التى تفترض أن هناك عدد مماثل من الجينات التركيبية يحمل كل منها شفرة تكوين جسم مضاد معين وأن دخول الجسم المولد بطريقة ما يحث على تكوين الجسم المضاد المقابل له . أما النظرية الأخرى التى تعتمد على الأدلة المتوفرة حاليا ، فإنها تؤيد مسئولية عدد قليل من الجينات التركيبية فى هذا الخصوص ، ولكنها أكثر قدرة على الطفور لتعطى العديد من الأجسام المضادة المختلفة التى نشاهدها فعلا . ويفترض نتيجة لهذه المرونة أن هناك مجموعة من الخلايا المتخصصة فى إنتاج الأجسام المضادة تسمى خلايا البلازما حيث أن وجود جسم مولد معين يشجع من تضاعف خلايا البلازما المقابلة ، والتى تعمل بدورها على إنتاج الأجسام المضادة الملائمة ، بالإضافة إلى ذلك فإن هذه النظرية تفسر الحقيقة التى نعرفها وهى أنه بمجرد تعرضنا للعدوى فان أجسامنا تكتسب مناعة ضد هذه العدوى نظرا لبقاء مزيد من الخلايا المكونة للأجسام المضادة المسئولة عن المناعة فى الجسم .



(شكل ٨ – ٤) تكون راسب ناشىء عن الاتحاد فيما بين الجسم المضاد الثنائى التكافؤ والجسم المولد الرباعى التكافؤ (تم تحديد مواقع التفاعل على هيئة مناطق مظلله) ويلاحظ ازدياد هذا البناء الهيكلى المتكون باضطراد فى الثلاث اتجاهات المختلفة .

التفاعل الناشيء فيما بين الأجسام المولدة والأجسام المضادة :

يشتمل التفاعل الأساسى على اتحاد مناطق محددة من الجسم المضاد مع مناطق مقابلة لها على جزىء الجسم المولد . ونظرا لأن الجسم المضاد ثنائى التكافؤ وأن الجسم المولد عديد التكافؤ فإن التفاعل يؤدى فى النهاية إلى تكوين تركيب بنائى معقد (شكل ٨ - ٤) ، وإذا ماكان الجسم المولد قابل للذوبان فإنه يترسب فى النهاية .

والآن لنتكلم عما يحدث بالسبة للحيوانات المصابة بواسطة ميكروبات لم يسبق لها التعرض لأى منها أو الإصابة بها ، حيث يحدث التقام لخلايا الميكروب وتجد مكونات هذه الخلايا طريقها مؤخرا إلى الأنسجة الليمفاوية التى تقوم بإنتاج أجسام مضادة ضد هذه المكونات ، ولكننا نعرف أن الميكروب يحتوى على عدد كبير من جزيئات البروتين التى تناهز الألف وذلك بالإضافة إلى السكريات العديدة وغيرها من المركبات الأخرى التى تعمل كأجسام مولدة . ونظريا فإن الأجسام المضادة تتكون ضد كل هذه المركبات ، ولكننا فى الواقع نجد أن الأجسام المولدة المرتبطة بسطح الميكروب هى التى تعتبر ذات أهمية كبرى . فمثلا نجد أن المكونات عديدة البلمرة بالخلية الميكروبية مثل جدار الخلية والكبسولة والزوائد والأسواط توجد على سطح الخلية وبكميات أكبر بالمقارنة بغيرها من الأجسام المولدة بالخلية . وعلى هذا فيمكننا اعتبار الخلية الميكروبية كجسم مولد كبير الحجم تتواجد المجاميع المحددة لصفة توليد المضاد على أسطحه الخارجية عديدة البلمرة . والتفاعل مع الأجسام المضادة المتخصصة ضد الخلية الميكروبية ، يؤدى إلى تكون بناء هيكلى متشابك يرسب فيما بعد وهو ما يطلق عليه باصطلاح التلازن . ونجد أن اتحاد الأجسام المضادة بالأجسام المولـــدة فى الجسم يؤدى إلى ازدياد حساسية الجهاز المناعى وكفاءته مؤديا إلى حدوث كل من التحلل والالتقام .

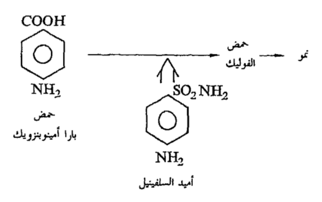
ومن اهم استخدامات علم المناعة فى الدراسات الميكروبية هو الاعتماد عليه كأحدى طرق تعريف وتصنيف الميكروبات ، وذلك عن طريق استخدام الأجسام المضادة المتخصصة . فعلى سبيل المثال هناك أكثر من مائة طراز لبكتريا Diplococcus pneumoniae التى تختلف فى طبيعة التركيب الكيميائى للسكريات العديدة المكونة للكبسولة المحيطة بالخلية ، والتى يمكن التفرقة فيما بينها باستخدام تحضيرات من الأجسام المضادة المختلفة واتحادها مع الطراز البكتيرى المراد التعرف عليه محدثة لنوع من التلازن يسهل التعرف عليه . ويعد هذا الاختبار ذو أهمية كبيرة بالنسبة للمتخصصين فى مجال

علم الأوبئة ، وذلك لمتابعة انتشار عدوى الأمراض حيث يساعد فى التعرف على الطراز الميكروبى المسبب لمرض ما ومدى انتشاره وانتقاله .

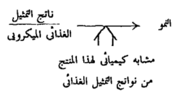
المركبات المضادة لنمو الميكروبات واستخدامها فى العلاج الكيماوى :

فور التأكد من قدرة الميكروبات على إحداث المرض بذلت العديد من المحاولات لإنتاج مركبات كيميائية لها القدرة على قتل مثل هذه الميكروبات أو على الأقل تحد من نموها . وتلك كانت البداية للأبحاث الخاصة بالمركبات الكيميائية المضادة لنمو الميكروبات ، ومنذ البداية كان التفكير السائد هو البحث عن المواد الرخيصة الثمن التى يمكنها قتل أكبر عدد ممكن من الميكروبات والتى تستخدم بالتبعية فى التعقيم الكيميائى . ومن أكثر هذه المواد الكيميائية كفاءة مركبات الكلورين وفوق الكلورين والفينول وأملاح المعادن الثقيلة والمنظفات الصناعية . وقد أطلق على مثل هذه المواد بالمطهرات حيث تستخدم فى تعقيم الأدوات وغيرها من المواد غير الحية أو فى معالجة المياه وتستخدم بتركيزات منخفضة حتى لاتسبب أية سمية للكائنات الحية المختلفة من نبات وحيوان . وبالفعل فان معظم هذه الكيماويات تعتبر ذات فعل عام وسام على بروتوبلازم الخلايا حيث تؤدى إلى فقده لخواصه . ثم بعد ذلك بدأ الاهتمام بالبحث عن المواد الكيميائية التى يمكن استخدامها مباشرة مع كل من الحيوانات والنباتات والإنسان على وجه الخصوص . وتستخدم المواد المطهرة لتطهير الجلد وعلاج الجروح الصغيرة أما المواد المستخدمة فى العلاج الكيميائى فتصنع خصيصا لتأثيرها على أنواع معينة من عدوى الميكروبات حيث يتم امتصاصها بواسطة سوائل الجسم . ولأجل هذا الغرض فإن هذه المواد يتطلب أن يكون لها تأثير مثبط متخصص ضد ميكروبات محددة وهو ما يطلق عليه باصطلاح السمية الانتقائية ، ولكن للأسف نجد أن هذه المواد السهلة الاستعمال كمطهرات لاتتوفر فيها مثل هذه الخاصية نظرا لأن الكائنات الحية الراقية عادة ما تعتبر أكثر حساسية للمواد الكيميائية عن الكائنات الحية الدقيقة وخاصة البكتريا والفيروسات . وعلى الرغم من أن العالم ليستر قد أدخل استخدام الفينول كمادة مطهرة أثناء عملياته الجراحية الشهيرة مما أدى إلى الحصول على العديد من المزايا ، إلا أن إدخال الفينول إلى الجروح ذاتها لابد وأن يكون له أضرار خاصة فيما يتعلق بتثبيطة للجهاز المناعى بالجسم لسميته الانتقائية للخلايا الحيوانية بمقارنتها بالكائنات الحية الدقيقة ، وعلى هذا فالحاجة ماسة فعلا لمواد ذات سمية انتقائية للكائنات الحية الدقيقة ، ولكن ما هو السبيل لاكتشافها ؟ . ولاشك أن البحث عن هذه المواد فى بداية هذا القرن كان يعتمد

على تجربة العديد من المواد الكيميائية ومعرفة تأثيراتها الايجابية أم السلبية ، وقد تم الحصول على القليل من هذه المواد ذات الأهمية المحددة نسبيا ، ولكن لم يحدث تقدما مشهوداً إلا عند اكتشاف مركبات اميدات السلفا وهى مجموعة من المركبات الكيميائية التى يعتمد تركيبها أساسا على مادة أميد السلفينيل . وعلى الرغم من أن مثل هذه المركبات استخدمت ولايزال فى معالجة مجموعة من عدوى البكتريا الممرضة للانسان والحيوان إلا أن اكتشافها فى حد ذاته قد ساعد على تدعيم مجال البحث عن المواد ذات السمية الانتقائية ، ويرجع ذلك إلى ما عرف من أن التأثير السام لهذه المركبات على أنواع البكتريا الحساسة يمكن التغلب عليه بإضافة حمض بارا أمينوبنزويك ، حيث أثبتت الدراسات المتأنية فى هذا المجال أن مركبات أميد السلفينيل تتنافس مع حمض بارا أمينوبنزويك فى احتلال الموقع النشط لأحد الأنزيمات المسئولة عن تحويل هذا الحمض إلى حمض الفوليك الذى يعتبر أحد المرافقات الانزيمية للعديد من التحولات الغذائية .

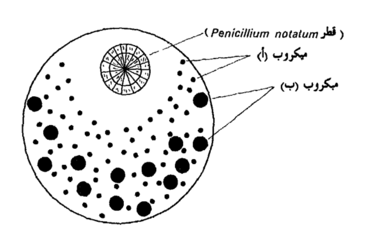


ولقد وجد أن مثل هذا التثبيط بالتنافس يعزى إلى التركيب الكيميائى المتشابه لمركبات أميد السلفينيل وحمض بارا أمينوبنزويك . ولقد كان مثل هذا الاكتشاف حقا مثيرا للغاية لأنه فتح الآفاق لإمكانية تخليق وإنتاج مجموعة من المركبات الكيميائية العلاجية والتى تتشابه فى تركيبها الكيميائى مع بعض نواتج التمثيل الميكروبى خلاف حمض البارا أمينوبنزويك .



ومنذ ذلك الحين تم إنتاج العديد من هذه المركبات التى تعمل على تثبيط نمو الميكروبات . ومع ذلك فإن غالبية هذه المركبات تعتبر سامة للكائنات الحية الراقية ، حيث أن معظم نواتج التمثيل الغذائى الميكروبى تعتبر عامة وشائعة لكل صور الحياة الدنيئة والراقية نظرا لما هو معروف عن وحدة بيوكيمياء التفاعلات فى الكائنات الحية جميعا . لهذا يلزم البحث عن مواد وتفاعلات تعتبر مميزة للكائنات الحية الدقيقة ثم ينتج لها بعد ذلك مثبطات متخصصة لها . ولكن للأسف فإن مثل هذا الاتجاه لم يؤد إلى إنتاج أى من المركبات الكيميائية المفيدة فعلا فى العلاج الكيميائى ، ولعل السبب وراء ذلك هو عدم الدراية الكاملة بميكانيكية التمثيل الغذائى بالكائنات الحية الدقيقة لكونها بالغة الدقة والتعقيد .

منذ فترة بدأ يسود اتجاه جديد انبثق من اكتشاف مقدرة الكائنات الحية الدقيقة على إنتاج مواد مضادة للنمو اطلق عليها المضادات الحيوية . حيث تم اكتشاف مثل هذه الظاهرة منذ المراحل الزمنية الأولى لتطور علم الميكروبيولوجيا ، وكان العالم فليمنج هو أول من قام بوصف إحدى هذه المواد عام ١٩٢٩ م والتى يقوم بإنتاجها فطر Penicillium notatum حيث أسماها بمادة البنسلين ، وحيث تتوفر فيها العديد من الخصائص التى تجعلها من المواد الكيميائية النموذجية ، والتى تستخدم فى العلاج الكيميائى (شكل ٨ – ٥) . ولكن لم يحدث آنذاك تقدم كثير بخصوص تنقية مثل هذه



شكل (٨ ــ ٥) : نتائج تجربة تشبه تلك التى اكتشف من خلالها فليمنج البنسلين . حيث تم تلقيح سطح الطبق كله بميكروبين احدهما ينتج مستعمرات صغيرة (أ) والآخر ينتج مستعمرات كبيرة (ب) . وينتشر البنسلين من نمو فطر بنسليوم نوتاتم ويثبط الميكروب (ب) عند تركيز اقل من الميكروب (أ) .

المادة حيث أنه لم يكن هناك تفاهما بين كل من علماء الميكروبيولوجيا والكيمياء بالإضافة إلى أن علم الكيمياء الحيوية كان حديث العهد . واستمر الحال على ما هو عليه حتى الأربعينيات من هذا القرن حيث تطورت طرق التنقية المختلفة واتضح أن مادة البنسلين ذات كفاءة عالية فى العلاج الكيميائى تفوق أية مواد أخرى تم اكتشافها مسبقا . وفجأة وجد أن خاصية إنتاج المضادات الحيوية شائعة فيما بين الميكروبات خاصة التى يعيش منها فى التربة ، حيث اعتقد أنها تستخدم هذه الخاصية فى التغلب على الكائنات المنافسة لها . ولقد أيقظ ذلك علماء الميكروبيولوجيا ليشتغلو على عينات التربة وأعينهم على وميض جوائز نوبل . وقد تم اكتشاف العديد من المضادات الحيوية مما أدى الى حدوث تطور جذرى فى العلاج بواسطة المواد الكيميائية إلى درجة أنه من الممكن ان نقول أن المضادات الحيوية تستخدم الآن فى علاج معظم حالات العدوى التى تسببها الكائنات الحية الدقيقة. والآن ماهو الأساس الذى يبنى عليه خاصية السمية الانتقائية لهذه المضادات الحيوية . مثل هذا السؤال لايعتبر ذو صبغة أكاديمية نظرا لأن العديد من الكائنات الحية الدقيقة بدأت تظهر مقاومة لفعل المضادات الحيوية المستخدمة حاليا (انظر صفحة 130) ومن المرجح أنه قد تم اكتشاف واستنفاذ الغالبية العظمى من رصيد المضادات الحيوية التى توجد فى الطبيعة . ولعل معرفة ميكانيكية فعل المضادات الحيوية يمدنا ببعض المعلومات اللازمة لتصميم مركبات كيميائية جديدة يمكن استخدامها فى العلاج الكيميائى . ونجد أن هذا النوع من المعرفة بدأ يتوفر لدينا ولكن بشىء من البطىء نظرا لأن ذلك يتطلب فهما دقيقا ومفصلا لفسيولوجيا الميكروبات . فعلى سبيل المثال نجد أنه على الرغم من توفر العديد من الأبحاث الخاصة بميكانيكية فعل مادة البنسلين إلا أنه لم يكشف النقاب عن الموقع من الخلية الذى تؤثر عليه هذه المادة إلا حديثا ، وحيث وجد أنها تؤثر على المرحلة الأخيرة فى تخليق السكريات الببتيدية فى الخلايا بدائية النواة . وبهذا أمكن تفسير السمية الانتقائية لمثل هذه المواد حيث أن الخلايا حقيقية النواة ومن بينها خلايا الإنسان لاتحتوى على أى تركيب مشابه لهذه السكريات الببتيدية .

وعلى الرغم من اكتشاف مواد عديدة ذات سمية انتقائية ضد خلايا الكائنات الحية الدقيقة إلا أنه لا يتوفر حتى الآن مواد لها فعل مماثل ضد الفيروسات ، حيث أن هذه الكائنات ولسوء الحظ تعتمد اعتمادا كاملا فى تكاثرها على خلية العائل ، وأن أى محاولة لتثبيط تكاثر الفيروسات يؤدى بالضرورة إلى تثبيط خلايا العائل أيضا . ومع ذلك فهناك بعض الفرص المتاحة للحد من مهاجمة الفيروسات والحيلولة دون دخولها إلى الخلية .

وقد يكون فى الإمكان تخليق مواد تستخدم فى العلاج الكيميائى لعدوى الفيروسات ومرض السرطان إلا أن ذلك يتطلب فهما دقيقا ومتطوراً لوظائف الخلية يفوق ما هو متوفر لدينا الان من معلومات .

الكائنات الحية الدقيقة والمقاومة الحيوية :

عادة ما تؤدى الكائنات الحية الممرضة إلى حدوث أضرار للانسان إما باحداثها للأمراض بدرجة مباشرة أو بتأثيرها على الحيوانات والمحاصيل الحقلية التى يعتمد عليها . ومع ذلك فإنها قد تكون مفيدة أيضا نتيجة لفعلها الذى يحد من انتشار الآفات . ومن الأمثلة على ذلك الفيروس الذى يسبب مرض الورم الهلامى للأرانب ، ويوجد هذا المرض فى نصف العالم الغربى حيث الأرانب أكثر مقاومة له . ولقد دخل هذا المرض إلى أوربا فى عام 1953 ثم وصل فيما بعد إلى استراليا وهى مناطق لم يكن موجوداً بها بالمرة ، وقد أدى ذلك إلى حدوث وباء مدمر أدى تقريبا إلى إبادة الأنواع الحساسة من الأرانب . مما ساعد على استزراع مساحات شاسعة من الأراضى والتى كانت مرتعاً لنشاط الأرانب المدمر ، وعلى الرغم من نشأة سلالات أرانب مقاومة لمثل هذه العدوى إلا أن هذا المثل يعتبر نموذجا واضحا لإمكانية استخدام الكائنات الحية الدقيقة كأحد وسائل المقاومة البيولوجية . وهناك الآن اتجاه حديث لاستغلال ذلك فى مقاومة الآفات الحشرية ، وذلك لأن هذه الطريقة لايصاحبها تلوث للبيئة المحيطة كما هو الحال عند استخدام المبيدات .

الفصل التاسع

بيئة الكائنات الحية الدقيقة وأهميتها للانسان

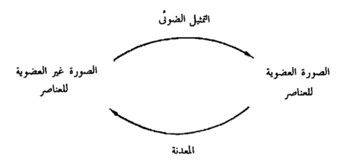
تكون الكائنات الحية الدقيقة نسبة لايستهان بها من ممل الكتلة الحية الموجودة على سطح الكرة الأرضية . فمما لاشك فيه أن معدلات تكاثرها السريعة وكفاءة تمثيلها الغذائى بالإضافة إلى تأقلمها مع الظروف البيئية المحيطة يجعلها أكثر أهمية بالنسبة للأنشطة المختلفة التى تجرى فى النظم البيئية وبدرجة قد تفوق ما تشير إليه كتلتها الحية وسوف يعالج هذا الفصل بعض أدوارها الهامة المتعلقة بالحفاظ على الأوساط البيئية الموجودة على سطح الكرة الأرضية بصورة تسمح باستمرار الحياة على حد مفهومنا لها . هذا بالإضافة إلى التعرض لبعض الطرق المستخدمة لاستغلال نشاط هذه الكائنات الحية الدقيقة لخير الإنسان ومنفعته أولا وأخيرا .

دورات العناصر والمادة :

علمنا مما سبق أن العناصر الغذائية الرئيسية اللازمة لبناء ونشاط الكائنات الحية تشتمل على الكربون ، الهيدروجين ، الأكسجين ، النتروجين ، الكبريت ، الفوسفور . ويعتبر النمو بالنسبة لجميع الكائنات الحية على سطح الكرة الأرضية ماهو إلا تحول هذه العناصر من الصورة غير العضوية الى مواد عضوية لبناء المادة الحية لهذه الكائنات . وفى البداية تأتى الطاقة اللازمة لحدوث مثل هذه التحولات من الشمس عن طريق عملية التمثيل الضوئى .

الصورة غير العضوية للعناصر ← (الكائنات الحية / الطاقة الشمسية) ← الصورة العضوية للعناصر

ولو أقتصرت العمليات الحيوية على مثل هذه العملية فقط فإنه سرعان ماتتوقف الحياة نظرا لارتباط كل الصور غير العضوية للعناصر – خاصة الكربون والنتروجين – وتواجدهما على هيئة مركبات عضوية . وفى الحقيقة فإن عكس هذه العملية والتى يطلق عليها بالمعدنة لابد وأن تحدث أيضا نتيجة لفعل ونشاط الكائنات الحية وبهذا يحدث ما يسمى بدورات المادة أو العناصر .



ولكن الوضع يكون أكثر تعقيدا فى الطبيعة نظرا لأن أغلب العناصر الهامة توجد فى صورها المؤكسدة والمختزلة ، وتستطيع الكائنات الحية استخدام هذه العناصر فى صورها المختلفة لذا توجد دورات أخرى تربط فيما بين الصور المتعددة لهذه العناصر .

صورة مؤكسدة	CO_2	O_2	H_2O	NO_3^-, N_2	SO_4^{2+}
صورة مختزلة	CH_4	H_2O	H_2	NH_3	H_2S

والآن دعنا نعرض بشىء من التفصيل للطريقة التى يتم بها حدوث التغيرات المختلفة فى دورة الكربون .

دورة الكربون

يعتبر CO_2 المصدر الأساسى للكربون غير العضوى والمتاح لاستخدام الكائنات الحية سواء وجد على حالة غازية فى الغلاف الجوى أو ذائبا فى المياه السطحية . حيث يتم تحويله إلى صورة عضوية نتيجة لنشاط كائنات حية ذاتية التغذية ، والتى يمكنها استخدام

هذا الغاز كمصدر أساسى للكربون والتى من أهمها الكائنات المنتجة للأكسجين أثناء عملية التمثيل الضوئى والممثلة فى النباتات والطحالب ، هذا بالإضافة إلى أن كل من البكتريا الممثله للضوء وتلك المؤكسدة للمواد غير العضوية تلعب دورا ولو محدودا فى هذا الخصوص

CO_2 ⟵ كربون عضوى
كائنات ذاتية التغذية

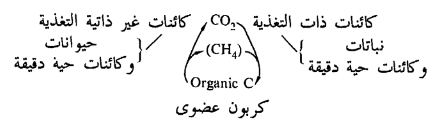
هذا بالإضافة إلى أن جزء بسيط من الكربون المختزل الموجود على صورة CH_4 قد يستخدم كمصدر للكربون بواسطة بعض أنواع البكتريا الهوائية متحولا الى كربون عضوى وأيضا CO_2.

CO_2
CH_4 ⟵ كربون عضوى
البكتريا المستخدمة للميثان

وتحدث عملية تحويل الكربون غير العضوى إلى مركبات كربونية عضوية بمعدلات تسمح باستهلاك مخزون CO_2 الموجود فى الغلاف الجوى خلال 30 -20 عاما وذلك فى حالة عدم حدوث أى تعويض لهذا الغاز من المحيطات . ومع هذا فإن عملية المعدنة العكسية تسمح بتحويل الكربون العضوى إلى كربون غير عضوى نتيجة لنشاط الكائنات الحية غير الذاتية التغذية مما يحول من استنفاذ رصيد CO_2 الموجود فى الطبيعة ، حيث يكون الناتج النهائى لنشاط هذه الكائنات هو CO_2 ، ولو أن بعض أنواع البكتريا قد تنتج غاز CH_4 نتيجة لتنفسها اللاهوائى والتخمر (انظر صفحة 102) .

(CH_4)
كربون عضوى ⟵ CO_2
كائنات غير ذاتية التغذية

بهذا تكتمل دورة الكربون ويحدث فى النهاية اتزان فيما بين الاتجاهين الرئيسيين



وعلى الرغم من حدوث عملية تحول الكربون غير العضوى إلى الصورة العضوية بواسطة النباتات والكائنات الحية الدقيقة وذلك بطريقة مباشرة وفورية إلا أن العملية العكسية التى تتم بواسطة أفراد المملكة الحيوانية والكائنات الحية الدقيقة غير الذاتية التغذية تعد أكثر تعقيدا مما يستدعى دراستها بشىء أكثر من التفصيل .

معدنة الكربون العضوى :

تحصل الكائنات غير الذاتية التغذية ــ سواء كانت حيوانات أو ميكروبات — على الكربون والطاقة عن طريق التمثيل الغذائى لإحدى صور الكربون العضوى الناتجة عن نشاط إحدى صور الحياة الأخرى .

(خلايا ونواتج نهائية عضوية) كربون عضوى ← (كائنات غير ذاتية التغذية) كربون عضوى

$CO_2(CH_4)$

ونتيجة لذلك فإن جزء من الكربون العضوى يتم معدنته فى حين أن المتبقى يتحول الى صورة عضوية أخرى إما على هيئة نمو ميكروبى جديد أو إحدى النواتج النهائية لعمليات التمثيل الغذائى . ويختلف مدى كفاءة هذا التحويل باختلاف الكائن المسئول والظروف التى تتم خلالها هذه العملية سواء كانت هوائية أو لاهوائية . وبعد ذلك نجد أن الكائن الحى غير الذاتى التغذية أو نواتجة النهائية من الكربون العضوى تستخدم كمصدر لغذاء كائنات غير ذاتية أخرى ، وهكذا تستمر العملية عبر سلسلة غذائية . ونجد عند كل مرحلة من مراحل هذه السلسلة أن نسبة معينة من الكربون العضوى الأصلى يحدث لها معدنة وهكذا حتى تمام عملية المعدنة .

$$\left(\text{كائنات غير ذاتية التغذية} \xrightarrow{CO_2(CH_4)} \text{كربون عضوى} \right)_n \text{كائنات غير ذاتية التغذية} \xrightarrow{CO_2(CH_4)} \text{كربون عضوى} \text{ كائنات غير ذاتية التغذية} \xrightarrow{CO_2(CH_4)} \text{الكربون العضوى من كائنات ذاتية التغذية}$$

وتلعب الميكروبات دوراً بالغ الأهمية فى مثل هذه العملية بحيث أن أى مركب يدخل فى تركيب كائن ما لابد وأن يكون عرضة للمعدنة وإلا حدث له تراكم على سطح الكرة الأرضية مما قد يؤدى فى النهاية إلى أن الكربون جميعه يصبح فى صورة غير صالحة للاستخدام . ولقد رأينا أن الميكروبات تتميز بمقدرتها الكبيرة على تحليل المركبات العضوية المختلفة بل أنها تتمكن من استخدام وتمثيل جميع المواد الكيميائية الطبيعية . ويسهل ملاحظة ذلك عند تتبع الأنسجة النباتية أو الحيوانية الميتة التى تصل إلى التربة أو المياه حيث نجدها تتحلل بسرعة ، ويحدث ذلك نتيجة لفعل ونشاط مجموعة متتابعة من الكائنات الحية الدقيقة حيث يستخدم كل منها مركب عضوى أو أكثر . وعند تراكم مادة معينة فإن ذلك يكون مشجعا لنمو الميكروبات التى لها القدرة على استخدام هذه المادة . ومع ذلك فهناك بعض المكونات النباتية المتراكمة فى التربة والتى تستخدمها الكائنات الحية الدقيقة ببطء شديد ، حيث تدخل هذه المواد مع النواتج الوسطية لنشاط الميكروبات فى تركيب مايسمى بدبال التربة الذى يعتبر كمعقد متكون من خليط من المواد التى تساعد فى اكتساب التربة لقوام وبناء جيدين وفى دعم تغذية النبات .

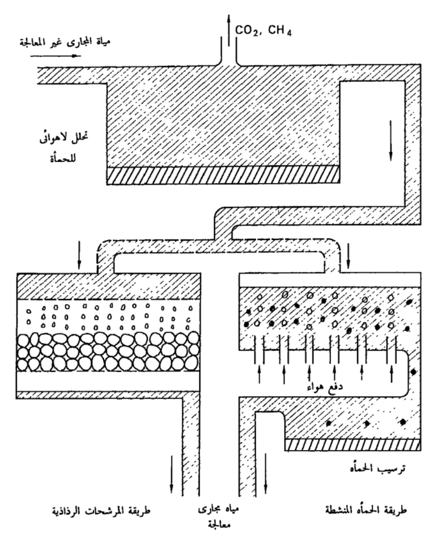
ويعتبر الدور البيئى الذى تلعبه الميكروبات غاية فى التعقيد ونحن لانفهم إلا القليل عنه وعن التداخلات الناشئة فى الأوساط الطبيعية . وتظهر هذه المشكلة أكثر تعقيدا إذا ما علمنا أن التربة ذاتها تشتمل بداخلها على أوساط بيئية دقيقة حيث تتوفر بها ظروف تختلف عن الظروف السائدة بشكل عام . فعلى سبيل المثال نجد أن الميكروبات تُدْمَصْ على سطح حبيبات التربة أو الغذاء ويصعب محاكاة ذلك تماما تحت ظروف المعمل التجريبية .

ومن أهم العوامل التى تتحكم فى معدل حدوث عملية المعدنة توفر عنصر الأكسجين ، فعند سيادة الظروف اللاهوائية كما هو الحال فى الأراضى الغدقة يحدث تراكم للأحماض العضوية وغيرها من المواد السامة الناتجة عن حدوث عملية التخمر مما

يؤدى إلى تثبيط عمليات التمثيل الغذائى ونمو الميكروبات عموما ، وبهذا تتراكم طبقات من المواد العضوية المتحللة جزئيا كما هو الحال بالنسبة لطبقات الخث أو فحم المستنقعات ، وتستغل ظاهرة التحلل الجزئى للمواد العضوية فى إنتاج العلف الأخضر المحفوظ (السيلاج) حيث تجمع المواد النباتية الملائمة مثل الحشائش الخضراء وتعبأ فى ابراج أسطوانية أو فى حفر حيث تتحول الظروف سريعا إلى ظروف لاهوائية ، ويؤدى تخمر المواد الكربوايدراتية بواسطة البكتريا إلى إنتاج حامض اللاكتيك وتراكمة بكميات كبيرة ، عندئذ ترتفع درجة الحموضة بسرعة مما يساعد على عدم استمرار التخمر والتحلل ، وحيث يحفظ هذا العلف الأخضر المعامل لفترات طويلة قبل استخدامه كعلف للحيوان .

وعلى هذا فإن للكائنات الحية الدقيقة دور أساسى فى استمرازية دورة الكربون ، وأن كُل المركبات العضوية الموجودة فى الطبيعة تتحول فى النهاية نتيجة لعملية المعدنة إلى غازى CO_2,CH_4 ولكننا نجد أن الإنسان يعمل على إدخال المزيد من المركبات العضوية المختلفة خاصة المبيدات الحشرية ، ومبيدات الحشائش إلى الأوساط البيئية المحيطة ، وحيث تقاوم العديد من هذه المركبات الفعل المحلل للميكروبات مما يؤدى الى تراكمها فى الطبيعية . وفى أغلب الأحيان لاتعرف التأثيرات الناشئة عن تراكم هذه المواد فبالإضافة إلى تأثيراتها السامة إلا أنه لايمكن التنبؤ بمدى الكارثة التى سوف تلحق بسلاسل الغذاء نتيجة لتقطعها وعدم استمراريتها . لذا فى حالة ضرورة استخدام هذه المواد الكيميائية يبدو لزاما التأكد من عدم سميتها للإنسان وأن تكون عرضة لفعل عملية المعدنة التى تقوم بها الكائنات الحية الدقيقة بمعنى أنها تكون قابلة للتحلل ولو بدرجة بطيئة . ومن أمثلة ذلك المركبات الصناعية التى تستخدم كمنظفات ، حيث أنها فى بادىء الأمر كانت تصنع من مواد غير قابلة للتحلل ، وحيث أدى تراكمها إلى حدوث العديد من المشاكل البيئية خاصة فى الأنهار وغيرها من المسطحات المائية التى تعلوها الرغوات الكيميائية بدرجة واضحة . ولكن مع سن القوانين المنظمة اتجهت الصناعة إلى إنتاج منظفات قابلة للتحلل الميكروبى مما أدى إلى التغلب على هذه المشكلة . ولكن ظهرت مشكلة من نوع آخر حيث وجد أن معظم هذه المنظفات تحتوى على عنصر الفوسفور الذى ينطلق نتيجة لفعل الميكروبات على صورة أملاح فوسفات ذائبة ، تعمل على زيادة نمو الطحالب وغيرها من النباتات المائية بدرجة شديدة وغير مرغوب فيها . لذا فإن الخطوة التالية تستلزم إنتاج منظفات صناعية خالية من عنصر الفوسفور .

ومن الأسئلة التى تستحوذ الاهتمام حاليا هو مدى إمكانية حدوث طفرات فى نوعية الأنزيمات المحللة للمواد العضوية ؟ وذلك تحت تأثير المواد الكيميائية المخلقة صناعيا والملوثة للوسط البيئى حتى يحدث التحلل لمثل هذه المركبات . بمعنى آخر يعمل التلوث على حدوث تغير تطورى يساعد على التغلب على مصادر التلوث ذاتها . ولا شك أنه من الممكن دراسة مثل هذه النقاط معمليا شريطة أن تكون المادة المستحدثة متقاربة فى تركيبها الكيميائى مع أحد المواد الطبيعية ، ولكن على الرغم من ذلك فإن تطور ونشوء ميكروبات لها القدرة على مهاجمة مواد معقدة مثل عديد كلوريد الفينايل أو النايلون لابد وأن يستغرق فترات طويلة هذا إذا حدث أصلا .



(شكل ٩ – ١) طريقتين من الطرق الأساسية المستخدمة فى محطات معالجة المجارى

معالجة مخلفات المجارى :

لقد أدى تطور المدن الكبيرة واكتظاظها بالسكان إلى إنتاج مخلفات عضوية بكميات هائلة وفى مساحات محدودة . والتخلص من هذه المخلفات بإلقائها فى المسطحات المائية القريبة ، كما جرت العادة سابقا يؤدى إلى حدوث مشكلتين رئيسيتين . أولهما تتعلق بالأخطار الناجمة على الصحة العامة لما تحتويه هذه المجارى من ميكروبات ممرضة ، وثانيهما أن الظروف فى المياه الملوثة تتحول إلى ظروف لاهوائية نتيجة لنشاط الميكروبات الهوائية واستهلاكها للأكسجين الذائب فى المياه ، مما يدمر الثروة السمكية وغيرها من صور الحياة الحيوانية فى المياه . وبناء على ذلك فمن المفضل معاملة هذه المجارى لتقليل محتواها من المواد العضوية . ونظرا لأن هذه العملية تعتبر معدنة فى حد ذاتها فإن مقدرة الميكروبات على القيام بهذه العملية قد استغل فى إنشاء محطات معالجة مياه المجارى ، حيث تشمتل المعالجة على مرحلتين أساسيتين :

١ – الترسيب والتحلل اللاهوائى :

العمل على ترسيب مخلفات المجارى الصلبة فى أحواض ترسيب كبيرة حيث يحدث تحلل لاهوائى لمثل هذه المخلفات وانتاج غازى CH_4وCO_2، ثم بعد ذلك تزال الرواسب غير المتحللة والموجودة فى القاع بشكل دورى

٢ – التحلل الهوائى لمكونات المجارى السائلة :

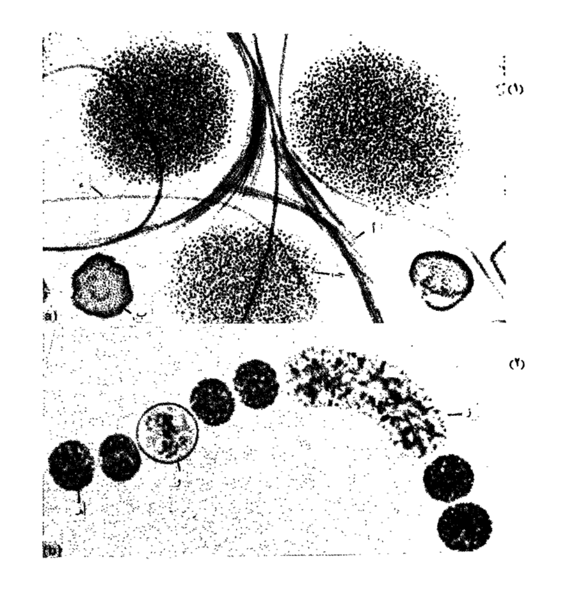
تتعرض مخلفات المجارى السائلة لفعل الميكروبات الهوائية . ويتم ذلك باستخدام المرشحات الرذاذية ، حيث ترش المخلفات السائلة على أسطح الحصى وفتات الصخور المعاملة مسبقا بالميكروبات المحللة . وهناك طريقة أخرى تعتمد على دفع الهواء خلال المخلفات السائلة ، وحيث تتكون رواسب بمرور الوقت تعتبر غنية فى الكائنات الحية الدقيقة النشطة فى تحلل المواد العضوية الذائبة ويطلق على مثل هذه الرواسب الحمأة المنشطة . وقد تستخدم مثل هذه الحمأة بعد ذلك حيث تضاف الى أحواض معالجة المخلفات السائلة مما يؤدى إلى إسراع عملية التحلل والمعدنة . ويوضح الشكل (٩ – ١) خطوات المعالجة .

وهناك مشكلة أخرى تنشأ فى المسطحات المائية ، فمن المعروف أن نقص مستوى العناصر الغذائية فى مياه الأنهار والبحيرات وخصوصا النترات والفوسفات والكبريتات

يحد من نمو الطحالب فيها . وهناك العديد من العوامل التى تعمل على زيادة معدل إضافة هذه المغذيات إلى المجارى المائية . وهذا الاثراء بالعناصر الغذائية يحدث نتيجة لتلوث المياه بمياه المجارى أو مخلفات الصناعة أو مياه الصرف الناتج من الزراعة الكثيفة وهذا يؤدى الى نمو وازدهار الطحالب التى يسهل رؤيتها بالعين المجردة ، والتى من أهمها الطحالب الخضراء المزرقة (لوحة ٩ – ١ الموجودة بصفحة 174) خاصة الأنواع المحتوية على فجوات غازية يمكنها الطفو على سطح الماء ، ولسوء الحظ فإن النمو المضطرد لهذه الطحالب يؤدى فى النهاية وبطريقة مباشرة أو غير مباشرة إلى تدهور ملحوظ فى جودة المياه الجارية ، مما يؤدى إلى أضرار اقتصادية خطيرة لاحتواء المياه على مواد سامة للأسماك أو وجود مكونات أخرى يصعب فصلها بالترشيح قبل استخدام المياه . هذا بالإضافة إلى أن الطحالب بعد موت خلاياها تتحلل بواسطة البكتريا ، مما يؤدى إلى استهلاك الاكسجين وسيادة الظروف اللاهوائية والتى إذا ما امتدت لفترة طويلة فإنها تؤدى إلى قتل الأسماك وغيرها من الحيوانات المائية .

دورة النتروجين :

غالبا ما يعد توفر مصدر مناسب من النتروجين عاملا محددا لنمو الكائنات الحية فى النظام البيئى . فعلى الرغم من توفر غاز النتروجين بكميات طائلة فى الغلاف الجوى تفوق الحاجة إلا أنه لايتواجد ضمن الكائنات الحية عموما إلا مجموعة محدودة من الكائنات الحية الدقيقة التى لها المقدرة على استخدام هذا الغاز كمصدر للنتروجين وتثبيته فى جسمها ، لذا فإنه صار لزاما حدوث تدوير لهذا العنصر وبكفاءة عالية فيما بين مركبات النتروجين العضوية وغير العضوية . فيتم تحويل صور النتروجين المعدنية الموجودة على صورة أمونيا أو نترات إلى مركبات عضوية عند استخدامها أساسا بواسطة النباتات والميكروبات ، مع ملاحظة أنه فى حالة استخدام النترات فإنه يلزم اختزالها إلى أمونيا أولا . ولقد ناقشنا فيما سبق الاختلافات فيما بين الكائنات الحية الدقيقة ، من حيث مقدرتها على استخدام صور النتروجين المعدنية وتخليق ما يلزمها من الأحماض الأمينية وقواعد البيورين والبيريميدين وغيرها من مركبات النتروجين المعقدة . وتقع مسئولية معدنة صور النتروجين العضوى المتكونة إلى أمونيا فى الغالب على الكائنات الحية الدقيقة سواء بفعلها النشط على الكائنات الميتة ؛ أو بتحليلها للمخلفات الحيوانية المختلفة . وتحت الظروف الهوائية فى التربة تستطيع بكتريا التأزت أكسدة الأمونيا إلى نترات (صفحة 105) ولو أن هذه العملية قد تعتبر ضارة من الوجهة



(لوحة ٩ — ١) (١) الطحالب الخضراء المزرقة فى المياه المأخوذة من أحدى البرك بانجلترا .

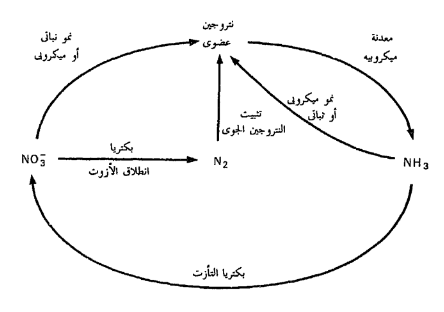
(أ) **Aphanizomenon** (ب) **Gomphosphaeria**

(جـ) **Microcystis** (د) **Oscillatorai (X 135)**

(٢) جزء من خيط أحد الطحالب الخضراء المزرقة Anabaena حيث (هـ) عبارة عن خلايا خضرية تحتوى على فجوات غازية ، (و) حوصلة ، (ز) جرثومة حديثة (أكينات) **X 135**

« تفضل بأهداء هذه الصور هيلدا كانتر – لوند »

الزراعية نظرا لأن النترات المتكونة على الرغم من سهولة امتصاصها بواسطة النباتات عن الأمونيا إلا أنها تعتبر أكثر عرضة للغسيل والفقد فى التربة . ثم عند تحول الظروف فى التربة إلى الظروف اللاهوائية تحدث عملية انطلاق الأزوت التى تقوم بها بعض الميكروبات أثناء تنفسها اللاهوائى مستخدمة النترات (صفحة 103) حيث لا يمكن تعويض هذا الفقد إلا عن طريق نشاط الميكروبات المثبتة للنتروجين الجوى أو بإضافة الأسمدة الكيميائية . ويلخص الشكل (٩ — ٢) دورة النتروجين .



(شكل ٩ — ٢) دورة النتروجين

إنتاج الميكروبات ونواتجها المختلفة صناعيا :

سنناقش فيما يلى إمكانية استخدام وسائل الصناعة المختلفة فى إنتاج الخلايا الميكروبية ذاتها أو نواتجها المتعددة .

الأغذية الميكروبية :

تعتبر الميكروبات ذاتها مصدرا ممتازا لتغذية كل من الإنسان والحيوان حيث أن خلاياها تحتوى على قدر كبير من البروتين والأحماض الأمينية الأساسية والفيتامينات .

وعلى الرغم من عدم التيقن إلى الإمكانية الكبيرة لاستخدام الميكروبات كغذاء إلا حديثا فإن الميكروبات استخدمت فعلا ومنذ القدم فى تخمير وحفظ الأغذية بل العمل على رفع قيمتها الغذائية سواء كانت أغذية نباتية أو حيوانية والتى سريعا ما تتلف دون ذلك . وتعتبر الألبان مثال جيد على ذلك خاصة فيما يتعلق باستخدام اللبن فى تصنيع الزبد والألبان المتخمرة مثل الزبادى والجبن . وإذا ما تكلمنا عن تصنيع الجبن نجد أنه يتم أولا ترسيب بروتين ودهون اللبن على هيئة خثرة صلبة تتعرض بعد ذلك لفعل الميكروبات أثناء عملية النضج والتعتيق . وتتوقف نوعية الجبن المنتجة فى النهاية على الطريقة المستخدمة فى الصناعة (التسخين ، الضغط ، التمليح .. الخ) . فعلى سبيل المثال نجد أن الميكروبات المسئولة عن جودة إنتاج جبنة الشيدر المعروفة هى بكتريا حامض اللاكتيك الموجودة فى خثرة اللبن ؛ حيث يتكون الطعم المميز لهذا الجبن نتيجة لنمو ثم موت خلايا هذه المجموعة من البكتريا وما ينطلق أثر ذلك من أنزيمات محللة للبروتين والدهون . أما بالنسبة لأنواع الجبن الأخرى فتضاف مزارع ميكروبية خاصة إلى اللبن مثل بكتريا حامض البروبيونيك حيث يؤدى انتاجها لحمض البروبيونيك وغاز CO_2 إلى إنتاج الجبن السويسرى المشهور بطعمه المميز والثقوب الموجودة به ، فى حين أن الفطر يستخدم فى إنتاج الجبن الزرقاء .

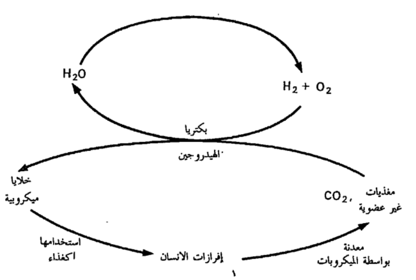
ومع هذا فإن منتجات الألبان تعتبر مكلفة ولا ترفع كثيراً من القيمة الغذائية للبن نفسه ، ولكن من الاتجاهات الأكثر نفعا حاليا هو استخدام الكائنات الحية الدقيقة فى رفع القيمة الغذائية لبعض الأطعمة الكربوايدراتية مع ضرورة الحرص الشديد لعدم حدوث أى تلوث بالميكروبات الممرضة . وهناك اهتمام شديد الآن باستخدام الغذاء الميكروبى على نطاق واسع كأحدى الوسائل الممكنة لمواجهة نقص الغذاء العالمى ، حيث أن المواد الضرورية التى تستخدم لتنمية الميكروبات تعتبر رخيصة الثمن ، مما يجعل استخدام هذه الطريقة ممكنا من الناحية الاقتصادية . وهنا يتضح ثلاث اتجاهات رئيسية استخدمت لأجل هذا الغرض وتهدف إلى حل هذه المشكلة . وجميع هذه الطرق لازالت حديثة بحيث أن تطورها لم يستقر بعد .

١ - استخدام الكائنات الحية الدقيقة ذات القدرة على التمثيل الضوئى . فعلى الرغم من أن هذه الميكروبات لاتتطلب إضافة مواد عضوية باهظة التكاليف إلا أنها تحتاج إلى توفير الضوء اللازم . ولكن حتى الآن لم يتم تطوير طريقة اقتصادية تلائم إنتاج هذه الميكروبات .

٢ – استخدام الميكروبات غير الذاتية التغذية . يستلزم استخدام هذه الميكروبات توفر مصادر كربونية رخيصة ، وذات مواصفات ثابتة تقريبا . وفى هذا المجال يمكن استخدام المخلفات الكربوايدراتيـه الناشئة عن الصناعات المختلفة مثل المولاس المتخلف عن صناعة السكر ، ونشارة الخشب المتخلفة عن صناعة الأخشاب ، ومخلفات الكبريتيت السائلة الناتجة عن صناعة الورق . حيث تستطيع الميكروبات النمو هوائيا فى وجود هذه المخلفات أو نواتج تحللها المائى . ومن الطرق الأخرى استخدام الوقود الحفرى مثل البترول كمصدر للكربون والطاقة حيث تتمكن الميكروبات غير ذاتية التغذية من استخدام المركبات الهيدروكربونية المستقيمة السلسلة الموجودة فى البترول والغاز الطبيعى . وهذه تتوفر بأسعار اقتصادية على الأقل حتى ينفذ احتياطى العالم منها . ونواتج التنمية عبارة عن خلايا ميكروبية وغاز CO_2 ويمكن تحويل ما يعادل ٨٠٪ من المركبات الهيدروكربونية إلى كتلة حية من الخلايا الميكروبية التى تحتوى بدورها على ما يعادل ٥٠٪ بروتين تقريبا . ولقد تم تطوير لخطوط إنتاج خلايا الخميرة كغذاء من البترول ؛ وذلك باستخدام المزارع المستمرة على نطاق صناعى كبير وحيث يعتبر المنتج بهذه الطريقة من أرخص صور البروتين المتاحة بل وينافس دقيق فول الصويا والأسماك . وتستخدم الخمائر المنتجة فى تغذية الحيوانات مثل الدواجن والخنازير دون ظهور أية تأثيرات سامة . ونظرا لأن المنتج عديم الطعم فلا يوجد هناك أى سبب يحول دون استخدامه كغذاء للانسان شريطة إضافة مواد محسنة للطعم والقوام . ولا شك أن مثل هذا الغذاء الميكروبى لابد وأن يكون له تأثير ملموس على وضع الغذاء العالمى ، حيث تشير التقديرات إلى أن ١٠٪ فقط من الإنتاج العالمى للبترول ممكن استخدامه فى تدبير الاحتياجات البروتينية اللازمة لتغذية البشرية جمعاء . ولعل هذه التقديرات تبرز الغباء المستحكم فى تبديد مخزون العالم من الوقود الحفرى سواء كان فحم أو بترول بالحرق للحصول على الطاقة والحرارة اللازمتين . ويعتبر الميثان .. CH_4 كأحد الغازات الطبيعية الرخيصة التى يمكن استخدامها كمصدر للكربون والطاقة ، ولو أن إمكانية استخدامه مقصورة على البكتريا ولا نعلم الكثير عن مقدرة كل من الحيوان والإنسان على استعماله كمصدر للغذاء .

٣ – استخدام البكتريا ذاتية التغذية الكيميائية . وإمكانية استخدام هذه الكائنات الحية تنشأ من الاجابة على السؤال الذى يطرح الا وهو كيفية استخدام الطاقة الكهربائية لإنتاج مواد غذائية عضوية ؟ ولعل هذه المشكلة تهم أساسا المشتغلين فى علوم الفضاء

على الرغم من أهميتها فى المستقبل عند توفر الطاقة الكهربائية بأسعار أرخص مما هى عليه الآن ، وعندما ينفذ مخزون الوقود الحفرى . ومن إحدى الطرق المستخدمة تحويل الطاقة الكهربائية إلى ضوء يستخدم بعد ذلك لتنمية الكائنات الحية التى لها القدرة على التمثيل الضوئى والإمكانية الثانية هى أن كل من الأكسجين والهيدروجين يتكون منهما الماء ، ويمكن إجراء عكس التفاعل بالتحليل الكهربى ، وتستخدم النواتج لتنمية الميكروبات . وفى رحلات الفضاء الطويلة قد يكون من الممكن معدنة مخلفات رجال الفضاء وتحولها إلى نواتج معدنية يمكن استخدامها كعناصر غذائية لتنمية بكتريا الهيدروجين التى تستخدم خلاياها ثانية فى تغذية رجال الفضاء ويلخص الشكل (٩ - ٣) مثل هذه العملية . ومن الواضح أن هذا لا يعتبر حلماً ، فلاشك أن الإنسان يسعى دائما للتغلب على مثل هذه الصعاب التى تعترضه عملا على تعزيز ودعم رحلات غزو الفضاء .



(شكل ٩ - ٣) رسم تخطيطى يوضح الانتاج المستمر للغذاء الميكروبى باستخدام الطاقة الكهربائية

المنتجات الميكروبية :

يمكن من الناحية النظرية استغلال تكون أى من النواتج الوسطية للتمثيل الغذائى بواسطة الميكروبات وذلك على نطاق واسع فى الصناعة . ولكن بغض النظر عن الاحتياج لتصنيع مثل هذه المواد إلا أن هناك سؤالا دائما مايفرض نفسه ، ألا وهو مدى

ما تتكلفه هذه العمليات الحيوية بالمقارنة بتصنيع مثل هذه المواد كيميائيا . ولقد حظى بالاهتمام فى الماضى إنتاج بعض نواتج التمثيل الغذائى للخلايا ، والتى تفرز خارج الخلية والموجودة عادة بكميات كبيرة . ويتم إنتاج أغلب هذه المواد لا هوائيا عن طريقة عملية التخمر الميكروبى ولذا كان يطلق على مثل هذه الصناعات بصناعة التخمرات . ولكن لسوء الحظ فقد عمم هذا الاسم على غيرها من الصناعات الحديثة والمعتمدة على نمو المكيروبات هوائيا مثل صناعة الخميرة باستخدام المركبات الهيدروكربونية التى سبق الحديث عنها .

وسوف نتكلم الآن عن تصنيع أهم المنتجات الميكروبية فى الماضى والحاضر والمستقبل .

١ - إنتاج الكحول :

يعتبر إنتاج كحول الايثانول من أقدم المنتجات الميكروبية تاريخيا ، حيث يتكون نتيجة لنشاط ميكروبات الخميرة وتخميرها للمواد الكربوهيدراتيه (صفحة 103) . ومن أبسط الطرق استخدام المواد النباتية المحتوية على نسب عالية من السكر مثل العنب كمواد يتم تخميرها مباشرة لإنتاج النبيذ ، وحيث يتوقف نوع النبيذ المنتج على كل من نوع العنب والخميرة المستخدمين . وتشتمل العملية على عصر العنب ليتكون عصيرا رائقا ، والذى يتم تخميره بواسطة الخميرة الموجودة طبيعيا على العنب أو بعد إضافة إحدى خمائر العنب وذلك « كبادىء » لتشجيع عملية التخمر . وعملية التخمر التى تتم تعتبر أساسا تخمرا كحوليا خالصاً حيث أن البكتريا الملوثة يقف نموها نتيجة للحموضة المرتفعة بالإضافة إلى ارتفاع نسبة السكر فى عصير العنب . وبعد انتهاء عملية التخمر يتم إزالة الخميرة ثم يترك النبيذ للتعتيق دون أى تدخل للعمليات الميكروبية . ولكن يجب الاحتياط دون حدوث أى فساد ميكروبى ينشأ عن نشاط البكتريا التى تؤكسد الكحول إلى حامض خليك خاصة عند توفر ظروف هوائية شديدة أثناء عملية التعتيق ، وإذا ما حدث ذلك فإن الناتج النهائى هو تكون الخل .

وأثناء صناعة البيرة تتخمر المواد الكربوايدراتية ممثلة فى النشا الموجود فى الشعير أو الذرة أو الأرز . ونظرا لأن الخمائر المنتجة للكحولات ليس لها القدرة على مهاجمة النشا فى حد ذاتها فإنه يلزم فى البداية حدوث تحلل جزئى له والذى يتم إما نتيجة لفعل أنزيمات

الأميليز الموجودة فى الشعير كما هو الحال فى البيرة المنتجة فى بلاد أوروبا أو نتيجة لفعل أنزيمات الاميليز التى تفرزها الفطريات التى تضاف أثناء صناعة أنواع الخمور اليابانية الشهيرة . ويلى مرحلة التحلل المائى للنشا نشاط طرز الخمائر المختلفة المستخدمة فى صناعة البيرة لإنتاج الكحول . وتختلف أنواع البيرة المنتجة باختلاف طرز الخمائر المستخدمة ، وكذلك نتيجة لإضافة بعض أنواع من الأعشاب ، أو لحدوث عملية تخمر تالية على درجات الحرارة المنخفضة ، وذلك عند إنتاج أنواع البيرة المعتقة . وتعتمد معظم صناعات البيرة على إتمام عملية التخمر فى أوعية تخمير كبيرة بطريقة الدفعات غير المستمرة فى حين أن استخدام المزارع المستمرة قد يكون أكثر كفاءة ، ولكن تحفظ الشركات المنتجة للبيرة وتعود المستهلكين على المذاق المميز يؤدى إلى عدم إدخال مثل هذه الطريقة فى صناعة البيرة فى معظم البلدان .

بالإضافة إلى ذلك هناك وجهتين أخريتين لاستخدام التخمر الكحولى بواسطة الخميرة ، الأولى تشتمل على إنتاج الكحول صناعيا ولو أن إنتاجه كيميائيا صار منافسا قويا وبدأ فى الإحلال محل إنتاجه ميكروبيا . والاتجاه الثانى أثناء صناعة الخبز حيث يحدث تخمر للخبز نتيجة لنشاط الخميرة وإنتاجها لغاز CO_2 .

٢ - المنتجات الكيميائية الأخرى :

استخدمت مقدرة الكائنات الحية الدقيقة على تخليق مجموعة كبيرة من النواتج الوسطية لعملية التخمر كأساس لما يطلق عليه الآن بصناعة التخمرات وما وصلت إليه من تقدم ملحوظ ، حيث تستخدم هذه الطريقة فى إنتاج مواد مثل الجلسرين ، حامض اللاكتيك ، الأسيتون ، البيوتانول ، حامض الخليك وحامض البيوتريك . ولو أن الارتفاع فى تكلفة المواد الكربوايدراتية الخام المستخدمة وتطور عمليات التخليق الكيميائية لمثل هذه المركبات قد أدى إلى جعل الإنتاج الميكروبى لمثل هذه المركبات غير اقتصادى . وباستثناء كل من صناعة الخبز والنبيذ نجد أن معظم الصناعات الميكروبية قد تعرضت لخطر الانقراض إلى أن عادت للانتعاش مرة ثانية باكتشاف المضادات الحيوية فى الأربعينيات من هذا القرن واستخدامها فى العلاج الطبى . وتعتبر المضادات الحيوية مواد كيميائية إلا أن إنتاجها مازال يتم بواسطة الميكروبات ، حيث أنها أكثر رخصا . حيث أدت الأبحاث إلى الحصول على سلالات ذات كفاءة عالية فى إنتاج هذه المضادات الحيوية ، والتى تعتبر من أحد أسرار الصناعة . فعلى سبيل المثال نجد أن سلالات فطر

المستخدمة حاليا فى الصناعة تنتج ما يعادل آلاف المرات مما تنتجه السلالة Penicillium الاصلية من هذا الفطر Penicillium notatum التى تحصّل عليها العالم Fleming . ويلاحظ هنا للمرة الثانية أن طريقه مزرعة الدفعات تستخدم فى إنتاج المضادات الحيوية ، ولأسباب تختلف عن الأسباب التى يتبناها منتجى البيرة ، فعادة ماينتج الميكروب المضادات الحيوية بعد انتهاء دور النمو النشط أى عند نهاية طور النمو الأسِّى ، وحيث يطلق على مثل هذه المركبات التى لاتتكون أثناء مرحلة النمو النشط اصطلاح نواتج التمثيل الغذائى الثانوية . وحتى الآن لم يتم بوضوح التعرف على الدور الذى تلعبه هذه المضادات الحيوية . حيث يفترض أن المقدرة على إنتاج المضادات الحيوية من المميزات التى تساعد الميكروبات على المقاومة والبقاء وذلك كما يتضح من إنتاج هذه المواد بواسطة معظم الميكروبات التى تستوطن التربة التى تعتبر من الأوساط البيئية التى يحدث بها التنافس الشديد فيما بين المجاميع الميكروبية المختلفة . ولكن لم يتم تأكيد هذا الافتراض ، بل ويظل كلغز محير مقدرة مجموعة من الاكتينوميسيتات على إنتاج كميات كبيرة من هذه المواد الكيميائية الغريبة والتى قد لا يكون لبعضها أى نشاط مضاد لنمو الكائنات الحية الأخرى .

ولا شك أنه كان لإنتاج المضادات الحيوية على نطاق تجارى تأثيرا مشجعا للصناعات الميكروبية الأخرى بالاضافة الى الاهتمام الموجه حاليا صوب إنتاج الغذاء الميكروبى الذى تكلمنا عنه سابقا . ولكن لسوء الحظ يهيمن على الصناعات البيولوجية بصفة عامة مجموعة من الأشخاص غير الملمين بعلوم البيولوجى . لذا فإنه يبدو لزاما على فروع البيولوجى المختلفة خاصة البيولوجيا الجزيئية أن تبرز عن دورها واستخداماتها فى الميادين المختلفة . فلقد أمكن حديثا استنباط سلالات ميكروبية لها القدرة على الإنتاج الفائق لأى من نواتج التمثيل الغذائى الوسطية مثل الفيتامينات . ولا شك أن إنتاج المضادات الحيوية ما هو إلا مثال لما قد يمكن تحقيقه وإنتاجه بواسطة الميكروبات ولو على نطاق تجريبى .

ولا شك أن استغلال وراثة الكائنات الحية الدقيقة يسمح بحدوث تطور ملحوظ فى الطرق المستخدمة . فعلى سبيل المثال هناك اهتمام واضح بانتاج الأنزيمات على نطاق تجارى كما أنه يمكن إدخال بعض الطفرات التى لها القدرة على تخليق أى من الأنزيمات دون حدوث أى نوع من أنواع الكبت وحيث يمكن إنتاج نسخ متعددة للجينات التركيبية . وفى القريب العاجل سوف تصبح الهندسة الوراثية واستخدامها بالنسبة للكائنات الحية الدقيقة حقيقة واقعة وعندئذ يمكننا إدخال الجينات المرغوبة إلى أى من الميكروبات ، وذلك من مصدر آخر ليس له به صلة أو قرابة .

مراجع إضافية

توجد قائمة مفصلة بالكتب والمراجع زودت بها الأجزاء التى ظهرت مؤخراً فى هذه السلسلة من الكتب والتى يمكن الرجوع إليها . هذا بالإضافة إلى المراجع التالية الهامة :

BROCK T. D. (1961) Milestones in Microbiology. New Jersey: Prentice Hall

BROCK T. D .(1970) Biology of Microorganisms. New Jersey: Prentice Hall

POSTGATE J. (1969) Microbes and Man. Harmondsworth: Penguin Books

STANIER R. Y., DOUDOROFF M., ADEIBERG E. A. (1971) General Microbiology. London: Macmillan.

كما تحتوى الإصدارات السنوية لجمعية الميكروبيولوجيا التى تصدر عن جامعة اكسفورد العديد من المقالات ذات الصبغة العامة والمفيدة .

قائمة المصطلحات العلمية

A

Acid- tolerant bacteria	البكتريا المقاومة للحموضة
Actinomycetes	الاكتينوميسيتات
Activated Sludge	طريقة الحمأة المنشطة فى معالجة مياه المجارى
Adsorption	ادمصاص
Aerobic respiration	التنفس الهوائى
Agar (Agar agar)	الاجار (لتجميد البيئات البكتيرية)
Agglutination	التلازن الناشىء عن تفاعل الاجسام المضادة والأجسام المولدة لها
Akarvotes	كائنات عديمة النواة (الفيروسات)
Akinetes	جراثيم تكونها الطحالب الخضراء المزرقه
Algae	طحالب
Ammonifiers	بكتريا النشدره (تحلل المادة العضوية النتروجينية إلى نشادر)
Amoeba	الاميبا
Amoeboid motion	الحركة الأميبية
Anaerobic respiration	التنفس اللاهوائى
Analogue	مشابه (كيمائى)
Antibiotics	مضادات حيوية
Antibodies	أجسام مضادة
Antibody- antigen reaction	التفاعل الناشىء بين الأجسام المضادة والأجسام المولدة لها
Antigens	أجسام مولدة للمناعة
Antigen- determinant groups	المجاميع الكيميائية المتحكمة فى المناعة
Antimicrobial agent	مادة مانعة لنمو الميكروبات

Antiseptics	المواد المطهرة
Asexual spores	جراثيم لاجنسية
Assembly	تجميع مكونات جزيىء الفاج
Association	علاقة المعايشة (التزامل) الناشئة فيما بين الكائنات الحية
Autoclave	جهاز الاوتوكلاف (للتعقيم بالبخار تحت ضغط)
Autolysis	التحلل الذاتى للخلايا
Autotrophs	كائنات حية ذاتية التغذية
Auxotrophs	ميكروبات بها عوز غذائى
Auxotrophic mutants	طفرات العوز الغذائى

B

Bacilli (rod)	ميكروبات عصويه
Bacteria	البكتريا
Bacteriology	علم دراسة البكتريا
Bacteriophage (phage)	بكتريوفاج (فاج) (فيروسات البكتريا)
Barophilic microorganisms	كائنات حية دقيقة محبة للضغوط الجوية العالية
Batch cultures	مزارع الدفعة الواحدة (المزارع غير المستمرة)
Bdellovibrios	بكتريا ضمية صغيرة تتطفل حتما على أجناس بكتيرية أخرى
Binary fission	الانقسام الثنائى البسيط
Binomial nomenclature	التسمية الثنائية للكائنات الحية
Biochemical characters	الخصائص البيوكميائية (كيمو حيوية)
Biodegradable	مواد عرضة للتحلل الحيوى
Biological control	المقاومة الحيوية للآفات
Biological warfare	الحرب البيولوجية
Biology	علم البيولوجى (الحياة)
Biomass	الكتلة الحية
Biosynthesis	التمثيل الحيوى
Botany	علم النبات

Burst	انفجار الخلية
Breakdown	انحلال (مصادر الكربون والطاقة)

C

Calvin cycle	دورة كالفين
Cannibalism	تغذية الخلاياعلى نواتج تحلل خلايا من نفس النوع (الوحشية)
Capsid	الكابسيد (الغلاف البروتينى لجزيىء الفيروس)
Capsomers	كابسوميرات (الوحدات البنائية لغلاف الفيروس)
Capsule	كابسولة (مواد مخاطيه محيطة بالخلية)
Carbon cycle	دورة الكربون
Cell division	انقسام الخلية
Cell- free extract	مستخلص خالى من الخلايا
Cell wall	جدار الخلية
Chemical pathways	مسارات التفاعلات الكيميائية
Chemoautotroph	كائنات حية ذاتية التغذية الكيميائية
Chemostat	الكيموستات (نظام للتحكم فى المزارع الميكروبية المستمره بطريقة العامل المحدد)
Chemosynthetic autotrophs	كائنات ذاتية التغذية الكيميائية
Chemotherapy	العلاج الكيماوى (باستخدام المواد الكيميائية)
Chlamydospores	الجراثيم الكلاميدية
Chlorophylls	صبغات الكلوروفيل
Chloroplasts	البلاستيدات الخضراء
Chromosomes	كروموزومات
Ciliates	السوطيات
Classification	تقسيم الكائنات الحية
Clone	مجموعة من الخلايا متماثلة تماما من الناحية الوراثية
Cocci	ميكروبات كروية
Code	شفرة وراثية

Coenocytic	خلايا متعددة الأنوية
Coenzyme	مرافق إنزيمى
Colony	مجموعة (مستعمرة) بكتيرية
Commensalism	علاقة عدم التأثير المتبادل فيما بين الكائنات الحية المتعايشة (أو المنفعة من جهة واحدة)
Competitive inhibition	التثبيط بالتنافس
Conidia (Conidiospore)	الكونيديا (الجراثيم الكونيدية)
Conjugation	التزاوج
Constitutive enzymes	الانزيمات التكوينية (دائمة التواجد بالخلية)
Constitutive resistance	مقاومة تكوينية ضد حدوث مرض ما
Continuous culture	المزارع المستمرة لتنمية الكائنات الحية الدقيقة
Corepressor	كابت معاون
Counting chamber	شريحة العد الميكروسكوبى المباشر للخلايا (غرفة العدُّ)
Cultural characters	الخصائص المزرعية
Cycles of elements	دورات العناصر
Cyst	حوصلة
Cytoplasm	السيتوبلازم
Cytoplasmic membrane	الغشاء السيتوبلازمى

D

Death phase	طور الهبوط (الموت)
Denitrification	انطلاق الازوت
Diatoms	الدياتومات
Differential centrifugation	الطرد المركزى التفريقى
Differential staining	الصبغ التفريقى للخلايا
Diploid cell	خلية ثنائية المجموعة الكروموزومية
DNA	الحمض النووى د. ن . أ
Donor	واهب (أو مانح)

E

Early enzymes	انزيمات مبكرة
Ecology	علم البيئة
Ecosystem	النظام البيئى
Electron donors	مركبات معطية للالكترونات (مانحه)
Electron microscope	الميكروسكوب الالكترونى
Electron transport chain	سلسلة انتقال الالكترونات
Endoplasmic reticulum	الشبكة الاندوبلازمية
Endospores	الجراثيم الداخلية
Environment	الوسط البيئى
Environmental stimuli	منبهات بيئية
Episomes	إبيزومات
Eukaryotic cells (Eukaryotes)	خلايا حقيقية النواة
Eutrophication	نمو الطحالب وازدهارها فى المجارى المائية نتيجة للتلوث الشديد بأملاح النتروجين والفوسفور الذائبة
Evolution	نشوء (تطور)
Exosporium	كيس جرثومى
Exponential phase	طور التضاعف الأسىّ للخلايا

F

Facultative anaerobes	ميكروبات لاهوائية اختيارا
Facultative autotrophs	كائنات حية ذاتية التغذية اختيارا
Family	اسم العائلة
Feedback inhibition	التثبيط الرجعى
Fermentation	التخمير
Filteration	التعقيم بالترشيح
Flagella	أسواط الحركة
Flourescent microscope	الميكروسكوب الفلّورى

F- pilli (sex- pilli)	الزوائد الجنسية
Freeze drying	الحفظ بالتجفيد (طريقة التجميد والتجفيف تحت تفريغ)
Freeze- etch	طريقة التجميد والطبع الكليشيهى لتجهيز العينات الميكروبية لفحصها بالميكروسكوب الالكترونى
Fruiting bodies	الاجسام الثمرية
Fungi	فطريات

G

Gene	الجين
Generation time (doubling time)	زمن الجيل (زمن التضاعف)
Genome	هيئة جينية
Genus	اسم الجنس
Germ- free animals	حيوانات معقمة خالية من الميكروبات
Gliding movement	الحركة الانزلاقية
Glycolytic- substrate level phosphorylation	الفسفرة على مستوى مادة التفاعل من خلال الانحلال الجليكولى
Gram stain	صبغة جرام
Growth	النمو

H

Haemolysis	تحلل كرات الدم الحمراء
Haploid cell	خلية أحادية المجموعة الكروموزومية
Heterotrophs	كائنات غير ذاتية التغذية
Hfr cells	خلايا مذكرة ذات كفاءة تزواجية عالية
Humus	دبال التربة
Hydrogen bacteria	بكتريا الهيدروجين
Hyphae	هيفات (الفطر)

I

Icosohedral	جزىء فيروس على شكل مجسم ذو عشرون وجها مثلثا
Identification	تعريف الكائنات الحية
Immunology	علم المناعة
Incubation	عملية التحضين
Individual	فرد
Induced enzymes	الأنزيمات المستحثة
Inducers	مواد محثة
Inducible resistance	مقاومة مستحثة
Inoculation	عملية التلقيح
Interferon	الانترفيرون (بروتينات متخصصة تفرزها الخلايا لمقاومة الفيروسات المعدية)

L

Lag phase	طور النمو التحضيرى
Latent period	مرحلة كمون (الفاج)
Lichens	الاشنات (تجمع طحلبى – فطرى متعايش)
Life cycle	دورة الحياة
Light microscope	الميكروسكوب الضوئى (الميكروسكوب العادى)
Lysis	تحلل
Lysogeny	حالة ليسوجينى
Lysozymes	ليزوزيم (انزيمات محللة)

M

Macrophage	خلايا الماكروفاج المبتلعة (لاقمات كبيرة)
Marker	معلّم (واسم)
Maximum temperature	درجة الحرارة العظمى
Medium (media)	بيئة (بيئات) أومنبت (منابت)
Mesophilic microorganisms (mesophiles)	كائنات محبة للحرارة المتوسطة

Mesosome	ميزوزوم
Metabolism	التمثيل الغذائى
Methane- producers	ميكروبات منتجة للميثان
Methane utilizers	كائنات مستهلكة للميثان
Microbiological assay	التقدير الحيوى للعناصر الغذائية باستخدام الميكروبات
Microbiology	علم الميكروبيولوجى (الكائنات الحية الدقيقة)
Microenvironments	الأوساط البيئية الدقيقة
Micromanipulator	جهاز لفصل خلية ميكروبية واحدة تحت الميكروسكوب للتنقية
Microorganisms	الكائنات الحية الدقيقة
Microscopy	الفحص الميكروسكوبى
Mineralization	عملية المعدنة
Minimum temperature	درجة الحرارة الدنيا
Miosis	الانقسام الميوزى (الاختزالى)
Mitochondria	الميتوكندريا
Mitosis	الانقسام الميتوزى (غير المباشر)
Molecular biology	البيولوجية الجزيئية
Molecular characters	الخصائص الجزيئية
Monomorphism	النظرية التى تنادى بأن كل نوع من الميكروبات يأخذ شكلا محدداً ومميزا
Morphological characters	الخصائص المورفولوجية
Motility	حركة الكائنات الحية الدقيقة
m- RNA	الحمض النووى ر . ن . أ حامل الرسالة
Mucopeptide	طبقة السكريات الببتيدية (الميوكوببتيدات أو الببتيدوجليكان ، المكونة لجدر الخلايا البكتيريه)
Multicellular	كائنات عديدة الخلايا
Multinucleate cell	خليه عديدة الأنوية
Multiplication	تضاعف الخلايا
Mutant	طفرة

Mycelium	ميسيلوم (الفطر)
Mycology	علم دراسة الفطريات
Mycoplasma	بكتريا الميكوبلازما (ليس لها جدار خلوى)
Mycorrhizae	فطريات الميكورهيزا (الفطريات الجذرية)
	(تدخل مع النبات فى علاقة تبادل منفعة)
Myxobacteria	الميكسوبكتيريا (بكتريا هلامية)

N

Nephalometer	جهاز لقياس النمو (بتقدير العكاره المسببة لتشتت الضوء المباشر)
Niche	دور بيئى مميز
Nitrifiers	بكتريا التأزت
Nitrogen fixation (N_2 Fixation)	تثبيت النتروجين الجوى
Nitrogen- Fixing Organisms	الكائنات الحية الدقيقة المثبتة للنتروجين الجوى
Nomenclature	التسمية العلمية للكائنات الحية
Nuclear membrane	الغشاء النووى
Nucleolus	النوية
Nucleus	النواة
(nucleoid, nuclear body)	
Numerical taxonomy	التقسيم الرقمى للكائنات الحية بناء على دراسة العديد
	من صفاتها مع استخدام الحاسب الآلى
Numerical aperture	الرقم المميز للعدسة (الفتحة العدديه)
Nutrient broth	بيئة المرق المغذى
Nutrition	التغذية

O

One- step viral growth curve	منحى نمو الفيروس ذو الخطوة الواحدة
Operator gene	جين عامل (مشغِّل)

Operon	الأوبرون (مجموعة من الجينات تنظم وتحكم عمل معين)
Optimum temperature	درجة الحرارة المثلى
Osmophiles (halophiles)	ميكروبات محبة للضغوط الاسموزية العالية
Oxidative Phosphorylation	الفسفرة التأكسدية (الهوائية)

P

Paramecium	البرامسيوم
Parasitism	علاقة التطفل
Pathogenicity	قدرة الطفيل على إحداث المرض (القدرة الإمراضية)
Pasteurisation	عملية البسترة
Peat	الخث (أو فحم المستنقعات)
Peptidoglycan	سكريات ببتيدية (فى جدر الخلايا بدائية النواه)
Periplasm	البيريبلازم (المنطقة المحصورة بين الجدار الخلوى والغشاء السيتوبلازمى)
Phagocytosis	الالتقام (التغذية بابتلاع الأجسام الصلبة)
Phase contrast microscope	ميكروسكوب تباين الأطوار
Photoautotrophs	كائنات حية ذاتية التغذية الضوئية
Photophosphorylation	الفسفرة الضوئية
Photosynthesis	عملية التمثيل الضوئى
Phycology	علم الطحالب
Phylogenetic taxonomy	تقسيم الكائنات الحية الدقيقة تبعا لدرجة القرابة فى النشوء والتطور
Pili (fimbriae)	زوائد
Pinocytosis	الارتشاف (التغذية بامتصاص المواد الغذائية الذائبة)
Plaque	بقعة شفافة (منطقة تحلل نتيجة الإصابة بالفيروس)
Plaque- forming units (P. F. U)	عد جزئيات الفاج التى تكون كل منها بقعة تحلل شفافة
Plasmids	بلازميدات (مكونات وراثية منفصلة عن الكروموزوم)
Pleomorphism	النظرية التى تنادى بتعدد أشكال الميكروب الواحد
Polymerisation	عملية البلمرة
Polysomes	البوليزومات (عديد الريبوزمات)

Population	مجموعة أفراد كائن ما (تعداد)
Pour plate	طريقة الأطباق المصبوبة
Primordial soap	الحساء الأصلى (الأولى) لصور الحياة
Progeny	خلفة أو نتاج (الفيروسات)
Prokaryotic cells (prokaryotes)	خلايا بدائية النواة
Promotor gene	جين محفز
Prophage	بروفاج (فاج أولى)
Protoplast	بروتوبلاست (خلية كاملة بدون جدار خلوى)
Prototroph	أولى التغذية
Protozoa	البروتوزوا
Protozoology	علم البروتوزوا
Pseudopodium	قدم كاذب
Psycrophilic microorganisms (physcrophiles)	كائنات حية محبة للبرودة
Pure cultures	المزارع النقية (تحتوى على خلايا من نوع واحد)

R

Radiation	الإشعاع (التعقيم بالإشعاع)
Recepient	مستقبل (خليه)
Recombinations	اتحادات وراثية
Regulator gene	جين منظم
Repair mechanism	نظام إصلاح خلوى
Repressible enzymes	الانزيمات المكبوتة
Repressor	كابت
Resolving power	قوة ايضاح الميكروسكوب
Rhizosphere	المنطقة من التربة المحيطة بجذور النباتات
Ribosomes	الريبوزومات
Rickettsia	الركتسيا (بكتريا صغيرة طفيلية)
RNA	الحمض النووى ر . ن . أ .

Rumen	كرش الحيوانات المجتره
Secondary metabolites	نواتج التمثيل الغذائى الثانوية
Sedimentation constant	ثابت الترسيب
Selection	انتخاب (انتقاء)
Selective toxicity	السميه الانتقائية
Serological characters	الخصائص السيرولوجية
Sexual spores	جراثيم جنسية
Sewage	مخلفات المجارى
Silage	السيلاج (العلف الأخضر المحفوظ)
Single cell protein	بروتين ميكروبى
Slime moulds (myxomycetes)	الفطريات الهلامية
Species	اسم النوع
Spectrophotometer	جهاز تقدير الطيف الضوئى
Spirillum	ميكروبات حلزونية
Spirochaetal movement	الحركة الملتوية
Spontaneous generation	نظرية التوالد الذاتى
Spores	الجراثيم
Sporogenesis	التجرثم
Starters	بادئات المزارع الميكروبية
Stationary phase	طور الثبات (طور السكون)
Sterilization	التعقيم
Storage granules	الجبيات المخزنة
Strain	سلالة تتبع نوع معين من الكائنات الحية
Streak plates	طريقة الأطباق المخطوطة
Strict aerobes	كائنات هوائية حتما
Strict anaerobes	كائنات لا هوائية حتما
Structural genes	جينات تركيبية
Substrate- level phosphorylation	الفسفرة على مستوى مادة التفاعل (لا هوائية)

Symbiosis	علاقة تكافلية (تبادل المنفعه)
Synchronization	التزامن
Synchronous growth	النمو المتزامن
Synthetic (defined) media	بيئات تركيبية

T

Tail- core	قناه الذيل المجوفة
Tail- fibers	خيوط الذيل
Tail- sheath	غمد ذيل الفاج
Temperate (phage)	معتدل (بكتريوفاج)
T- even phages	فاجات T (متخصصة فى اصابة E. coli)
Thermophilic organisms (Thermophiles)	ميكروبات محبة للحرارة العالية
TMV	فيروسات تبرقش الدخان
Total count	العدد الكلى للخلايا
Toxins	توكسينات (سموم ميكروبية)
Transcription	النسخ الوراثى
Transduction	الاستقطاع الوراثى (انتقال العوامل الوراثية محمولة فى جزىء الفاج)
Transformation	التحول الوراثى
t- RNA	الحمض النووى الناقل
Turbidity	العكارة الناشئة عن نمو الخلايا
Tyndallisation (Transmittent sterilization)	التعقيم المتقطع بالبخار

U

Unicellular organisms	كائنات وحيدة الخلية

V

Vaccination	التطعيم

Vegetative mycelium	الميسيليوم الخضرى
Viable count	عددْ الخلايا الميكروبية الحية
Vibrio	ميكروبات ضمية
Virion (particle)	جزىء الفيروس الكامل
Virology	علم الفيروسات
Virulence	درجة شراسة الميكروب وإحداثه للمرض (الضراوة الأمراضية)
Virulent	فتاك (ضارى)
Viruses	الفيروسات
Volutin	حبيبات مخزنة مكونة من عديد الفوسفات

W

Wild type	طراز برى

Y

Yeasts	الخمائر

Z

Zoology	علم الحيوان

الفهـــرس

صفحة

صفحة

صفحة

صفحة

صفحة

صفحة

صفحة

صفحة

صفحة

صفحة

